

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09287053 A**

(43) Date of publication of application: **04.11.97**

(51) Int. Cl
C22C 38/00
C22C 38/18
F16C 33/30
F16C 33/62

(21) Application number: **08269781**

(22) Date of filing: **11.10.96**

(30) Priority: **19.10.95 JP 07271111**
23.02.96 JP 08 36734

(71) Applicant: **NIPPON SEIKO KK**

(72) Inventor: **TANAKA SUSUMU**
YAMAMURA KENJI
OHORI MANABU

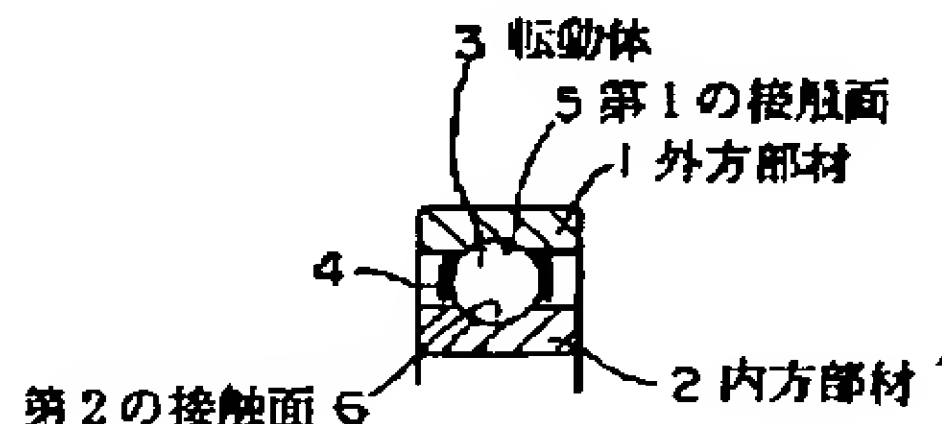
(54) ROLLING BEARING AND OTHER ROLLING DEVICES

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a rolling bearing and other rolling devices, excellent in fatigue life, wear resistance, corrosion resistance, acoustic characteristic, etc., by considering the relationship between carbon and nitrogen in the composition of a bearing material and other composition relations.

SOLUTION: At least one among an outer member (outer ring) 1, an inner member (inner ring) 2, and a rolling element 3 is composed of stainless steel which has a composition consisting of, by weight, <0.6% C, 10.0-22.0% Cr, 0.1-1.5% Mn, 0.1-2.0% Si, 0.05-0.2% N, and the balance Fe with inevitable components and further satisfying $0.04\text{Cr}\% - 0.83\text{N}\% - 0.392\text{C}\% \geq -0.05\text{Cr}\% + 1.41$ and $\text{C}\% + \text{N}\% \geq 0.45\%$.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-287053

(43)公開日 平成9年(1997)11月4日

(51)Int.Cl. ⁹	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 2 C 38/00	3 0 1		C 2 2 C 38/00	3 0 1 H
			38/18	
F 1 6 C 33/30			F 1 6 C 33/30	
33/62			33/62	

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 25 頁)

(21)出願番号 特願平8-269781

(22)出願日 平成8年(1996)10月11日

(31)優先権主張番号 特願平7-271111

(32)優先日 平7(1995)10月19日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(31)優先権主張番号 特願平8-36734

(32)優先日 平8(1996)2月23日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000004204

日本精工株式会社

東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72)発明者 田中 進

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(72)発明者 山村 賢二

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(72)発明者 大堀 學

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

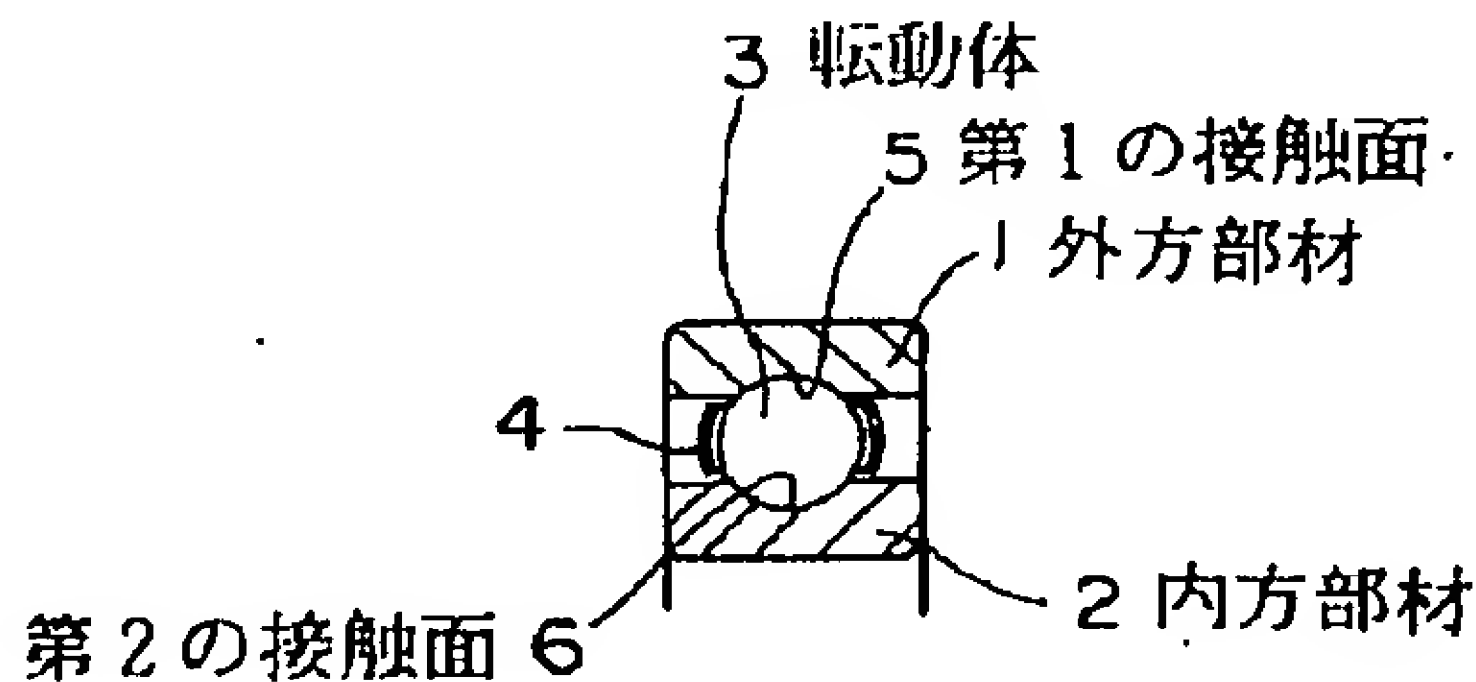
(74)代理人 弁理士 森 哲也 (外2名)

(54)【発明の名称】 転がり軸受その他の転動装置

(57)【要約】

【課題】軸受材料組成中の炭素と窒素との関係その他の成分組成を考慮することにより、疲労寿命及び耐磨耗性、耐食性、音響特性等に優れた転がり軸受その他の転動装置を提供する。

【解決手段】外方部材(外輪)1、内方部材(内輪)2及び転動体3の少なくとも一つが、重量%でC;0.6%未満、Cr;10.0%以上22.0%以下、Mn;0.1%以上1.5%以下、Si;0.1%以上2.0%以下、N;0.05%以上0.2%未満および残部Feおよび不可避成分を含有し、さらに $0.04Cr\%-0.83N\%-0.39\leq C\%\leq -0.05Cr\%+1.41$ 且つ $C\%+N\%\geq 0.45\%$ であるステンレス鋼からなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 外方部材と内方部材との間に転動体を配設し、転動体は外方部材の転動体への接触面である第1の接触面と内方部材の転動体への接触面である第2の接触面とに対して転動する転動装置において、前記外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、重量%でC；0.6%未満、Cr；10.0%以上22.0%以下、Mn；0.1%以上1.5%以下、Si；0.1%以上2.0%以下、N；0.05%以上0.2%未満および残部Feおよび不可避成分を含有し、さらに $0.04Cr\%-0.83N\%-0.39\leq C\%\leq-0.05Cr\%+1.41$ 且つ $C\%+N\%\geq 0.45\%$ であるステンレス鋼からなる転がり軸受その他の転動装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、精密機器、食品機械、半導体関連機器等に使用される転がり軸受やリニアガイド、ボールねじ等（以下、転動装置と総称する）の改良に関し、特に、その構成部品の材料組成を改善して転動装置の高機能化を図るものである。

【0002】

【従来の技術】精密機器、食品機械、半導体関連機器等においては、従来から、転がり軸受やリニアガイド（直動案内装置）やボールねじ等の各種の転動装置が使用されている。これらの転動装置は、その構成部品として外方部材と内方部材とその間を転動する転動体を備えており、転動体は外方部材の転動体への接触面である第1の接触面と内方部材の転動体への接触面である第2の接触面とに対して転動するように構成されている。より具体的に説明すると、ここでのいう転動装置の外方部材とは、転がり軸受にあつては外輪、リニアガイドにあつてはスライダ又は案内レール、ボールねじにあつてはナットを指す。また、転動装置の内方部材とは、転がり軸受にあつては内輪、リニアガイドにあつては案内レール又はスライダ、ボールねじにあつてはねじ軸を指す。

【0003】したがって、外方部材の転動体への接触面である第1の接触面及び内方部材の転動体への接触面である第2の接触面については、転がり軸受の場合は、外輪の軌道面が第1の接触面、内輪の軌道面が第2の接触面である。また、リニアガイドの場合は、スライダ（又は案内レール）の軌道溝が第1の接触面、案内レール（又はスライダ）の軌道溝が第2の接触面である。また、ボールねじの場合は、ナットのねじ溝が第1の接触面、ねじ軸のねじ溝が第2の接触面である。

【0004】一般に、転がり軸受その他の転動装置の転動体である玉ないしころ、及び外方部材や内方部材である内輪、外輪、スライダ、案内レール、ナット、ねじ軸等の材料として、軸受鋼であればS U J 2が、肌焼鋼であればS C R 4 2 0相当の鋼材等が使用されている。転がり軸受その他の転動装置は高面圧下で繰り返しせん断

応力を受けて用いられるため、そのせん断応力に耐えて転がり疲労寿命を確保するべく、軸受鋼は焼入・焼戻し、肌焼鋼は浸炭又は浸炭窒化処理後に焼入・焼戻しが施されてH R C 5 8 ~ 6 4 の硬度とされている。

【0005】しかし、転がり軸受その他の転動装置は使用環境が多種多用であり、S U J 2やS C R 4 2 0相当の鋼材を用いたものは、それらが水や海水の混入や湿潤その他の腐食環境下において使用された場合には早期に発錆して使用不能となる。

10 【0006】そこで、特に発錆を避ける必要がある精密機器、食品機械等に使用される転がり軸受その他の転動装置にあつては、耐食性に優れると共に軸受に必要な硬度H R C 5 8 以上を有する高C r 系ステンレス軸受鋼としてマルテンサイト系のS U S 4 4 0 C 等が従来より使用されている。

20 【0007】もっとも、このような水や海水の混入や湿潤等の腐食環境では、P H が5 ~ 9 程度の比較的中性に近い水分が転動装置に付着するのが一般的であるが、なかには特別なケースとして弱酸溶液やハロゲン化物水溶液等の特殊な溶液あるいは蒸気中で転動装置が使用されることもある。特に、硫酸、塩酸等の還元性の酸の場合には、それらの酸が数%水中に含有されただけでもステンレス鋼の不働態皮膜（酸化皮膜）を侵して著しく腐食を進行させ、腐食寿命に至らしめることがあり、そのような場合には転動装置に硬質C r めっき処理やレイデント処理、フッ化レイデント処理等の表面処理を施して使用される。

【0008】

30 【発明が解決しようとする課題】しかしながら、高C r ステンレス鋼においては、C、C r の含有量が多いとき、例えばCを0.6重量%を超えて含有すると多量のクロムとあいまって10 μ mを超える粗大な共晶炭化物が多数形成されるようになり、これらが疲労寿命、靱性、耐食性、加工性等を低下させるだけでなく、鍛造性、切削性等の加工性をも劣化させるという悪影響を及ぼすという問題点がある。

40 【0009】また、粗大な共晶炭化物の存在は、転がり軸受その他の転動装置の音響特性にも悪影響を及ぼすという問題点がある。音響特性とは転がり軸受その他の転動装置が作動中に発生する振動により生じる騒音の少なさを指すもので、工作機械や建設機械等ではそれほど問題にならないのであるが、例えばH D D やV T R 等のような振動を極度に嫌う精密機器に使用される比較的小型のステンレス製玉軸受等においては、音響特性が大きな問題となってくる。すなわち、転がり軸受その他の転動装置において発生する振動は、外方部材、内方部材、転動体の形状的な精度に大きく依存する。そのため、粗大な共晶炭化物が存在するような材料を使用した場合に、その粗大な共晶炭化物が転動装置の部品を仕上げ加工する際に目標となる精度達成に対する阻害要因とな

50

り、さらに転動装置使用中においても基地と共晶炭化物との間に摩擦差が生じて粗さ等の精度低下要因となり、その結果騒音が増大するとされている。なお、こうした音響特性の低下は、上述のように粗大な共晶炭化物に起因する場合の他に、残留オーステナイト量に起因する場合もある。

【0010】このように粗大共晶炭化物は、軸受その他の転動装置の音響特性を低下させるだけではなく、応力集中源となって疲労寿命をも低下させ、さらには靱性、耐食性等の劣化も招く。したがって、転動装置の構成部品の材料中のかような粗大共晶炭化物の存在は好ましくない。

【0011】又、転がり軸受その他の転動装置が潤滑不良下、例えば極端な場合、水中等で使用された場合には耐蝕性は当然必要であるが、寿命については耐摩耗性も特に重要となる。

【0012】一般のSUS440C等の材料から外方部材、内方部材及び転動体を構成した場合、これを水中のような苛酷な条件下で使用すると、外方部材の転動体への接触面である第1の接触面及び内方部材の転動体への接触面である第2の接触面と転動体との間に油膜が生じないため、転動体は外方部材、内方部材と直接接触する。そのため、転動装置の損傷形態は剥離寿命ではなく摩耗あるいは腐食による寿命（精度低下等）を示すようになる。

【0013】この著しい摩耗は、例えば転がり軸受に例をとると、転動体に窒化ケイ素等のセラミックスを用いることによって大きく低減できる。その場合、転動体のみにセラミックスを用いことにより、コストの上昇を最小限に抑えつつ機能を著しく向上させることが可能である。一般のSUS440C等の材料を軌道輪に用い、転動体にセラミックスを用いた場合、軌道輪及び転動体の全てをSUS440C材で構成したときよりも摩耗量は激減して長寿命化し、その寿命形態は摩耗、腐食を伴った剥離損傷を示す。しかし、セラミックスはほとんど弾性変形しないために、それと接触する軌道輪は転動体にステンレス鋼を用いた場合よりも高面圧を受け、内在する粗大な共晶炭化物が起点となって剥離損傷する。それゆえ、寿命に対する改善効果が不十分であった。また、SUS440C材では耐食性が不十分であり、長期にわたって水中等の腐食環境下に曝された場合には共晶炭化物周辺のCr欠乏層から腐食して発錆し、粗さ等の精度が低下して寿命が劣化し、その腐食が著しい場合には使用不能となるという問題点がある。

【0014】また一方で、HDDやVTR等の小型機器に組み込まれた玉軸受等の場合には、機器自体の可搬化により衝撃荷重が加えられる機会が増えている。この場合の玉軸受は小型のため比較的小さな衝撃荷重でも軌道輪が永久変形し、音響劣化や回転トルクむら等が生成して機器の性能劣化の原因となるという問題点がある。こ

のような永久変形は、軌道輪を構成する鋼中に含まれる残留オーステナイトの降伏応力が低いために発生する。

【0015】その残留オーステナイト量は、SUS2により軌道輪を構成した場合には240℃前後で焼戻しを行うことによりほぼ0%にすることができ、耐衝撃性を大きく向上させることが可能である。しかしながら、SUS2は先にも述べたように十分な耐食性を備えていないという問題がある。

【0016】一方、耐食性を有するSUS440C等の一般のステンレス鋼により軌道輪を構成した場合については、焼入後、サブゼロ処理しても8~12重量%程度の残留オーステナイトが残り、さらにこれらの残留オーステナイトは軸受鋼の場合よりも安定化して、400~600℃で焼戻しを行わなければほとんど分解しない。しかも、SUS440Cを400~600℃で焼戻しすることで残留オーステナイトは分解できても、硬度がHRC55~57あるいはそれ以下まで軟化して転がり疲労寿命及び耐摩耗性等が低下し、結局、当該軌道輪を含んで構成される転がり軸受の寿命が短くなってしまいう問題点がある。

【0017】さらに、その焼戻し過程においては基地中のCrが炭化物として析出したりして、焼戻し温度が高くなるにつれて軟化するだけでなく、耐食性の著しい低下をきたすという問題点もある。

【0018】特開昭61-163244号には、C、Crの含有量を低減することにより共晶炭化物の形成を抑制して、音響特性、疲労強度等を著しく改善したステンレス鋼製の転がり軸受が開示されている。しかし、寸法安定性や残留オーステナイト量に起因する耐衝撃性に関する事柄、高温焼戻し時の耐摩耗性、耐食性等については明示されていない。

【0019】以上指摘した転がり軸受における種々の問題点は、リニアガイドやボールねじなどのその他の転動装置の場合にも同様に生じうるものである。そこで、本発明は、上記従来の転がり軸受その他の転動装置における各種の問題点に着目してなされたもので、優れた耐食性を有する材料組成における炭素と窒素との関係等を考慮することにより、疲労寿命及び耐摩耗性、耐食性、音響特性等に優れた転がり軸受その他の転動装置を提供することを目的とする。

【0020】また、本発明の他の目的は、上記組成に特定元素を添加することにより、耐孔食性を改善し且つ焼戻し過程で2次硬化を生じて強度を一層高めた転がり軸受その他の転動装置を提供することにある。

【0021】また、本発明の他の目的は、材料中の共晶炭化物、窒化物（炭窒化物）等の大きさを規制することにより、粗大共晶物に起因する転がり軸受その他の転動装置の音響特性や疲労寿命、靱性等の低下を排除し、もって優れた疲労寿命及び耐摩耗性、耐食性、音響特性、靱性等に優れた高機能の転がり軸受その他の転動装置を

提供することにある。

【0022】また、本発明にあつては、水中等の潤滑不良環境下での摩耗や腐食による寿命低下という点に留意して、特に耐食性、疲労寿命に優れ、且つ耐摩耗性が良好な転がり軸受その他の転動装置を提供することを本願の目的とする。

【0023】さらに、水中等の潤滑不良環境よりもっと厳しい還元性の酸やハロゲン化物等の特殊な腐食環境で使用される転動装置の場合に、従来採用されているレイドント処理等の表面処理はコストが非常に大きくなってしまふばかりでなく、転動体の運動で当該表面処理が脱落しやすく、耐久性も不十分であるという問題点がある。かといって、耐酸性の良好なSUS304、SUS316に代表されるオーステナイト系のステンレス鋼の採用については、硬さが不足して高面圧を受けるような転動装置には適用できない。本発明はこうした特殊な腐食環境においても従来のものより好適に使用できる転動装置を提供することも目的としている。

【0024】

【課題を解決するための手段】本願発明者らは、耐食性に悪影響を及ぼす鋼中の炭素濃度を低下させ、その代わりに炭素と同様の固溶強化作用がある窒素を添加して、窒素・炭素濃度が鋼の耐食性や高温焼戻し硬さ等に及ぼす影響について研究を行うとともに、その他の合金成分等の影響について研究を行った。その結果、炭素濃度を低下させて代わりに窒素を添加すれば、粗大共晶炭化物の形成を抑制できて従来のステンレス鋼に比べて著しく耐食性が向上すること、高温焼戻しした際に微細な窒化物（炭窒化物を含む）等が析出して2次硬化し、従来のステンレス鋼に見られるような軟化が抑制できて耐摩耗性、耐食性が向上すること、さらに炭素含有量を0.5%未満とし、 $0.04\text{Cr}\% - 0.83\text{N}\% - 0.39 \leq \text{C}\% \leq -0.05\text{Cr}\% + 1.41$ となるように成分設計することにより、靱性、耐食性、寿命等に有害な δ フェライト及び粗大な共晶炭化物の形成を抑制できることなどが判明し、本願発明をなすに至った。

【0025】上記の目的を達成する本発明に係る転がり軸受その他の転動装置は、外方部材と内方部材との間に転動体を配設し、転動体は外方部材の転動体への接触面である第1の接触面と内方部材の転動体への接触面である第2の接触面とに対して転動する転動装置において、前記外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、重量%でC；0.6%未満、Cr；10.0%以上22.0%以下、Mn；0.1%以上1.5%以下、Si；0.1%以上2.0%以下、N；0.05%以上0.2%未満および残部Feおよび不可避成分を含有し、さらに $0.04\text{Cr}\% - 0.83\text{N}\% - 0.39 \leq \text{C}\% \leq -0.05\text{Cr}\% + 1.41$ 且つ $\text{C}\% + \text{N}\% \geq 0.45\%$ であるステンレス鋼からなる転がり軸受その他の転動装置（A）である。

【0026】ここで、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置（A）の外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つに用いられるステンレス鋼の合金組成は、上記合金組成に加えて、更に、選択的にMo；3.0重量%以下、V；2.0重量%以下を含有するものとすることができる。

【0027】また、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置（A）の外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つの構成材料が上述のステンレス鋼の合金組成を有すると共に、含有する共晶炭化物あるいは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下、焼入（サブゼロ処理）・焼戻し後の硬さがHRC58以上であつて、特に音響特性に優れ且つ疲労寿命及び耐食性等を兼ね備えているものとすることができる。

【0028】さらに、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置（A）は、外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つの構成材料が上述のステンレス鋼に選択的にMo；3.0重量%以下、V；2.0重量%以下を含有する合金組成を有すると共に、含有する共晶炭化物あるいは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下、焼入（サブゼロ処理）後に 400°C 以上 600°C 以下の温度で焼戻しされ、且つ焼戻し後の硬さがHRC58以上であり、特に音響特性に優れ且つ疲労寿命及び耐摩耗性等を兼ね備えているものとすることができる。

【0029】またさらに本発明に係る転がり軸受その他の転動装置（A）は、外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つの構成材料が以上のいずれかとされ、かつ残留オーステナイト（ γ_R ）量を6体積%以下とし、特に音響特性、耐衝撃性等を兼ね備えたものとすることができる。

【0030】又、本願発明者らはこれらの鋼の熱処理特性を詳細に調査して、耐食性と熱処理特性あるいはミクロ組織等の相関について検討した。その結果、基地中の未固溶炭化物の大きさと量を抑制することによって、優れた耐食性が得られることがわかった。

【0031】そこで、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置は、外方部材、内方部材及び転動体からなる転がり軸受において、当該外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、重量%でC；0.5%未満、Cr；10.0%以上14.0%以下、更に好ましくはMn；1.0%以下、Si；2.0%以下、Mo；3.0%以下、V；2.0%以下、N；0.05%以上0.14%以下を含有し、さらに $(\text{C} + \text{N})\%$ を $0.45\% \leq (\text{C} + \text{N})\% \leq 0.65$ となるように含有せしめたステンレス鋼からなる転がり軸受その他の転動装置（B）とすることができる。

【0032】また、この転がり軸受その他の転動装置（B）は、前記ステンレス鋼中に、焼入（サブゼロ）・焼戻後に内在する共晶炭化物及びその他未固溶炭化物がないか、もしくはその大きさが $2\mu\text{m}$ 以下、面積率で5

%以下であり、特に音響特性、耐食性に優れることを特徴とするものとすることができる。

【0033】又、本願発明者らは、転動体にセラミックス、軌道輪等の外方部材、内方部材にステンレス鋼を用いたハイブリッド転動装置の苛酷潤滑・腐食環境下（水中）での寿命についても検討した。

【0034】その結果、転動体にセラミックス、軌道輪等の外方部材、内方部材にステンレス鋼を用いて転動装置を構成すると、オールステンレスで転動装置を構成したときよりも著しく摩耗量は減少して長寿命となり、更に、その寿命は共晶炭化物の大きさ、耐摩耗性等に強く依存することがわかった。

【0035】そこで、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置は、外方部材、内方部材の一方または両方が、重量%でC；0.5%未満、Cr；10.0%以上22.0%以下、Mn；0.1%以上1.5%以下、Si；0.1%以上2.0%以下、Mo；3.0%以下、V；2.0%以下、S；0.030%以下、P；0.030%以下、O；100ppm以下、N；0.05%以上0.2%未満を含有し、さらに $0.04Cr\%-0.83N\%-0.39\leq C\%\leq-0.05Cr\%+1.41$ で、且つ $C\%+N\%\geq 0.45\%$ となるように含有せしめたステンレス鋼からなり、転動体が窒化ケイ素、ジルコニア、炭化ケイ素等のセラミックス材料からなることを特徴とする転がり軸受その他の転動装置（C）とすることができる。

【0036】また、この転がり軸受その他の転動装置（C）は、外方部材、内方部材を構成するステンレス鋼が含有する共晶炭化物もしくは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu m$ 以下、焼入（サブゼロ）・焼戻後の硬さがHRC58以上であり、転動体が窒化ケイ素等のセラミックス材料からなるものとすることができる。

【0037】また、この転がり軸受その他の転動装置（C）の焼戻温度は、 $400^{\circ}C$ 以上 $600^{\circ}C$ 以下とすることができる。又、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置は、更に、外方部材、内方部材及び転動体からなる転がり軸受その他の転動装置において、当該外方部材、内方部材の一方又は両方が、重量%でC；0.5%未満、Cr；10.0%以上14.0%以下、Mn；1.0%以下、Si；2.0%以下、Mo；3.0%以下、V；2.0%以下、S；0.030%以下、N；0.05%以上0.14%以下を含有し、さらに $(C+N)\%$ を $0.45\%\leq (C+N)\%\leq 0.65$ となるように含有せしめたステンレス鋼からなり、転動体が窒化ケイ素等のセラミックス材料からなることを特徴とする転がり軸受その他の転動装置（D）とすることができる。

【0038】この転がり軸受その他の転動装置（D）は、外方部材、内方部材を構成する前記ステンレス鋼が、焼入（サブゼロ）・焼戻後に内在する共晶炭化物及

びその他未固溶炭化物がないか、もしくはその大きさが $2\mu m$ 以下、面積率で5%以下であるものとすることができる。

【0039】更に、本願発明者らは、転動寿命、音響特性、一般的な環境下での耐食性のみならず、硫酸、塩酸等の還元性酸及びハロゲン化物溶液中等の特殊な環境における耐食性をも向上させるべく検討を重ねた。その結果、合金成分中に適量のNi及びCuを添加することによって、硫酸、塩酸等の還元性酸に対する耐食性が著しく向上し、且つ粗大な共晶炭化物もなく、良好な転動疲労特性および音響特性が得られ、従来よりも好適に使用できる特殊環境用の転がり軸受その他の転動装置を提供することがわかった。

【0040】そこで、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置は、外方部材、内方部材及び転動体からなる転がり軸受その他の転動装置において、当該外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、重量%でC；0.5%未満、Cr；10.0%以上16.0%以下、Mn；0.1%以上0.8%以下、Si；0.1%以上2.0%以下、N；0.05%以上0.2%未満、Mo；3.0%以下、V；2.0%以下、Ni；0.5%以上3.5%以下、Cu；0.5%以上3.0%以下および残部Fe及び不可避成分を含有し、さらに $0.04Cr\%-0.83N\%-0.39\leq C\%\leq-0.05Cr\%+1.41$ で、且つ $C\%+N\%\geq 0.45\%$ 、 $Ni\%+2.4Mn\%+0.3Cu\%\leq 5.0$ であるステンレス鋼からなることを特徴とする転がり軸受その他の転動装置（E）とすることができる。

【0041】また、外方部材、内方部材の一方または両方を前記（E）のものとし、転動体を窒化ケイ素、ジルコニア、炭化ケイ素等のセラミックスでなるものとすることもできる。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を説明する。まず、本発明の転がり軸受その他の転動装置の構造について、図面を参照して具体的に説明する。

【0043】図1は、本発明の転動装置の第1の実施形態である単列深溝玉軸受の部分断面図である。外方部材である外輪1と内方部材である内輪2との間に転動体である玉3が複数個配設され、玉3は保持器4で保持されている。この場合、外輪1の玉3への接触面である外輪の軌道面5が第1の接触面であり、内輪2の玉3への接触面である内輪の軌道面6が第2の接触面である。

【0044】なお、上記第1の実施形態では転がり軸受として開放形の単列深溝玉軸受を例示したが、本発明はシールド形、ゴムシール形等にも同様に適用でき、またその他のタイプの玉軸受にも適用可能であり、更には玉軸受とは限らずころ軸受に対しても適用可能である。

【0045】図2は、本発明の転動装置の第2の実施形態としての小型リニアガイドの一部を切り欠いて示す正

面図である。横断面略角型の内方部材である案内レール 11 の上に、外方部材である断面コ字形のスライダ 12 が跨架されており、両部材の間に転動体である多数個の玉 13 が配設されている。詳しくは、案内レール 11 の両側面に軸方向に長い軌道溝 15 が形成され、一方、スライダの構成部品のスライダの本体 12A には内側面に前記軌道溝 15 に対向する軌道溝 16 が形成され、この軌道溝 16 に平行する貫通孔からなる転動体戻り路 17 が袖部内に形成されている。そのスライダ本体 12A の両端にはスライダの構成部品のエンドキャップ 12B がねじ 18 でそれぞれ取り付けられてあり、これらのエンドキャップ 12B に前記軌道溝 16 と転動体戻り路 17 とを連通させる図示されない半ドーナツ状の湾曲路が形成され、軌道溝 16、転動体戻り路 17 及び湾曲路からなる転動体 13 の循環経路が構成される。その循環経路内に多数の転動体 13 が装填されて脱落しないように保持されている。この場合は、外方部材 12 の転動体 13 への接触面である第 1 の接触面はスライダ 12 の内側面の軌道溝 16 であり、内方部材 11 の転動体 13 への接触面である第 2 の接触面は案内レール 11 の外側面の軌道溝 15 である。

【0046】なお、リニアガイドとしては、図 2 のタイプのものに限らず、リニアガイドの一方の側部に第 1 の接触面であるスライダ 12 の内側面の軌道溝 16 及び第 2 の接触面である案内レール 11 の軌道溝 15 がいずれも 2 本以上あるものや、転動体があるものや、あるいは案内レールのほうが断面コ字型でその内面の凹部にスライダが転動体を介して移動自在に配設されたタイプのもの等にも同様に適用可能である。

【0047】図 3 は、本発明の転動装置の第 3 の実施形態としてのボールねじの要部の断面図で、螺旋状のねじ溝 21 を外周面に有する内方部材としてのねじ軸 22 に、外方部材であるナット 23 が多数の玉からなる転動体 24 を介して螺合されている。ナット 23 はねじ軸 22 のねじ溝 21 に対応するねじ溝 25 を内周面に有する。転動体 24 は前記両ねじ溝 21、25 によって形成された螺旋状空間をねじ軸 22 の回転方向に転動しつつナット 23 の胴部に設けられた例えば循環駒などのようなボール循環路（図示せず）に導かれてナット 23 の軸方向両端部間を循環移動する。そして、ねじ軸 22 が回転すると、転動体 24 の転動を介してナット 23 がねじ軸 22 に沿い直線方向に送られるように構成されている。

【0048】この場合は、外方部材 23 が転動体 24 に接触する第 1 の接触面はナット 23 のねじ溝 25 であり、内方部材 22 が転動体 24 とが接触する第 2 の接触面はねじ軸の外面のねじ溝 21 である。

【0049】なお、ボールねじとしては、図 3 のタイプのものに限らず、転動体の循環チューブを用いたチューブ循環式あるいはエンドキャップに循環経路を設けたエン

ドキャップ循環式のもの等、その他のタイプにも同様に適用可能である。

【0050】次に、本発明の転がり軸受その他の転動装置に用いられる合金成分の作用及び成分範囲限定理由等について説明する。

【C】C は、基地をマルテンサイト化することにより焼入れ・焼戻し後の硬さを向上せしめて強度を増加させる元素であるが、耐食性の面からは少ないほど良い。多量に加えると製鋼時に Cr が粗大な共晶炭化物を形成する。その結果、基地中の Cr 濃度が不足して十分な耐食性が得られなくなるだけでなく、転動寿命、靱性を低下させる。したがって、炭素含有量は 0.6 重量%未満とした。しかし、耐食性の観点からは 0.5 重量%未満、更に望ましくは 0.45 重量%未満とする。

【0051】【Cr】Cr は鋼に耐食性を与える最も必要な元素であるが、10.0 重量%に満たないと良好な耐食性が得られない。また、Cr 含有量が増加すると耐食性は向上するが、必要以上に添加されると δ フェライトが生成して脆化し、靱性を劣化させるので上限を 22.0 重量%とした。場合によっては、基地中の Cr 濃度が高くなりすぎて Ms（マルテンサイト変態開始温度）を下げ、十分な焼入れ硬さが得られなくなることがあるので、望ましくは上限を 16 重量%とし、耐食性の観点から下限を 12.0 重量%以上とすることが好ましい。

【0052】更に、炭素濃度によっては共晶炭化物が形成しやすくなる場合があるので、より好ましくは上限を 1.4 重量%とする。特に、N 添加量及び未固溶炭化物量に起因して、サブゼロを行っても残留オーステナイト γ_r が生じて焼入れ硬さが低下する場合には、望ましくは、耐食性を考慮して 11.5 重量%以上、13.5 重量%以下とする。

【0053】また、Cr は水中や湿潤等の一般腐食環境においてはその耐食性を著しく高めるのであるが、硫酸や塩酸等の還元性酸は不働態皮膜を侵す酸であり、場合によっては Cr 含有量が多いものほど腐食されやすくなることもある。また、Cr 含有量が多くなると素材の熱伝導率が小さくなり、研削性が低下する傾向にあり、素材のコストばかりか製造コストまでが上昇してしまう。これらの場合も上限を 13.5 重量%とするのが望ましい。

【0054】以上の理由により、Cr 含有量は 10.0 重量%以上 22 重量%以下好ましくは 11.5 重量%以上、13.5 重量%以下とする。

【Mn】Mn は製鋼時の脱酸剤として必要な元素で 0.1 重量%以上添加されるが、多量に添加すると鍛造性、被削性を低下させるだけでなく、S、P などの不純物と共存して耐食性を低下させるので上限を 1.5 重量%とした。なお、残留オーステナイト量が増加して十分な焼入れ硬さが得られなくなることがあるので、望ましい上

限は0.8重量%である。また、窒素の添加量によっては残留オーステナイト量が著しく増加して十分な焼入れ硬さが得られなくなることがあり、好ましくは上限を0.5重量%とする。

【0055】[Si] SiはMnと同じく製鋼時の脱酸剤として0.1重量%以上必要である。さらに焼戻し軟化抵抗性を高め、転動疲労寿命を向上させるのに有効な元素であるが、多量に添加すると靱性を低下させるので上限を2.0重量%好ましくは1.0重量%以下とする。

【0056】[S] SはMn等と介在物を形成して疲労強度を低下させ、さらには耐食性をも低下させるので、鋼中不純物としてなるべく少ないほうが良い。したがって、コストとの関係で0.030重量%以下に制限する。

【0057】[P] Pは偏析しやすくSと同様に疲労強度を低下させ、さらには耐食性を低下させるので、鋼中不純物としてなるべく少ないほうが良い。したがって、コストとの関係で0.030重量%以下に制限する。

【0058】[O] Oは酸化物系介在物を形成して著しく疲労寿命を低下させ、さらに音響特性も低下させる傾向があるのでなるべく少ないほうが良い。したがって、コストとの関係で100ppm以下、更に、より長寿命とするには、好ましくは50ppm以下に制限する。

【0059】[Mo] Moは焼入れ性および焼戻し軟化抵抗を著しく増大させる作用がある。さらに耐孔食性を改善する作用もある。しかし、過剰に添加すると靱性、加工性等を低下させるので、上限を3.0重量%とする。

【0060】[V] Vは強力な炭化物・窒化物生成元素であり、Cr炭化物、窒化物の形成を抑制すると共に、焼戻し過程で2次硬化を起こし、著しく強度を高める作用がある。しかし、多量に添加すると靱性、加工性を低下させるので、上限を2.0重量%とする。

【0061】[N] NはCと同様にマルテンサイトを強化して耐孔食性を向上させる作用があり、さらに粗大な1次共晶炭化物の形成を抑制するために0.05重量%以上好ましくは0.08重量%以上添加される。また、一般に、V、Mo、CrあるいはMn等の元素は窒素の溶解度を高めるが、通常の大気圧下での製鋼法では溶鋼中の窒素溶解度が小さいため、本発明鋼の成分範囲においては0.2重量%以上の窒素を添加することは難しい。0.2重量%以上の窒素を添加するためには高圧窒素雰囲気下での生産設備が必要になり、コスト高となるため好ましくない。また、大気圧下で多量の窒素を添加しようとする、凝固過程で気泡が生じてインゴットに多量の気孔が導入されたり、窒素量によっては(0.2重量%以上)多量の残留オーステナイトが生成して焼入れ硬さが低下したりして軸受寿命のバラツキを生ずることもあるため、N含有量の範囲は0.05重量%以上好ま

しくは0.08重量%以上、且つ望ましくは0.14もしくは0.15重量%以下とする。

【0062】[Ni] Niは強力なオーステナイト安定化元素であり、 δ フェライトの生成を抑え、靱性を向上させ、さらに耐食性、耐酸性を向上させる作用があるため、0.05重量%以上、より好ましくは0.5重量%以上添加される。しかし、必要以上に添加すると多量の残留オーステナイトが生成して十分な焼入れ硬さが得られなくなることがあるので、上限を3.5重量%とした。特に、転動装置が酸素を含む環境で使用される場合に添加すると有効である。

【0063】[Cu] CuもNiと同様に若干のオーステナイト安定化作用をもつ元素であり、 δ フェライトの生成を抑え、さらに耐食性、耐酸性を向上させる作用があるため0.05重量%以上、より好ましくは0.5重量%以上添加される。しかし、多量に添加すると、転動装置の製造工程で必要とされる熱間鍛造工程において熱間割れが生じる場合があるので上限を3.0重量%とした。特に、転動装置が酸素を含む環境で使用される場合に添加すると有効である。

【0064】 $[Ni\% + 2.4Mn\% + 0.3Cu\% \leq 5.0]$ Ni, Mn, Cuはいずれもオーステナイト安定化元素であり、オーステナイト領域を拡大したり、Ms点を下げてマルテンサイト変態を起こしにくくする作用があり、それらの含有量が多くなりすぎると残留オーステナイト量が増加して転動疲労に耐えるだけの十分な硬さが得られなくなる。そのため、総含有量を $Ni\% + 2.4Mn\% + 0.3Cu\% \leq 5.0$ を満足する範囲とした。

【0065】ここで、炭素を窒素に置き換える本願発明の意味の一つは次の通りである。高温焼戻し(400~600℃)して2次析出硬化する際に、炭化物のみのマルテンサイト系ステンレス鋼(例えばG, H鋼)では、 $M_{23}C_6$ なる微細な金属炭化物を例にとると、炭素1原子に対し金属M(例えばCr, Mo, Vなども同じ)の方は約4原子が基地から奪われる。これに対して本発明では炭素の一部を窒素に置き換え固溶させるので、

(炭)窒化物が CrN , Cr_2N (V, Moでも同じ)となり、窒素Nの1原子に対して金属のCrは1~2原子となる。すなわち炭化物のみのマルテンサイト系ステンレス鋼からなる軸受の基地から奪われるCrの量が減少し、その分、軸受の耐食性が向上するのである。加えて、窒(炭)化物は耐食性が炭化物のみより大である。

【0066】[C+N] マルテンサイト強化及び2次硬化によってHRC58以上の表面硬度を得るためには、C+Nが0.45重量%以上必要である。

【0067】また、炭素、窒素あるいはCr濃度によっては多量の残留オーステナイトが生成して十分な焼入れ硬さが得られなくなることがある。したがって、炭素+窒素の総含有量は好ましくは0.65%以下に制限され

る。

【0068】また、この成分範囲内であれば、粗大な共晶炭化物が生成したり、フェライトが生成して靱性を低下させることもない。

【含有する共晶炭化物あるいは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下、焼入れ、サブゼロ処理、及び焼戻し後の硬さがHRC58以上】製鋼時の凝固過程で形成される共晶炭化物は長径 $20\mu\text{m}$ 以上であると、仕上げ加工する際に目標となる面粗さ等の精度達成が困難であること、及び回転作動中に炭化物と基地の間に摩擦差が生じることから、音響特性が低下する（図5）。またその効果を発揮させるためには、望ましくは $3\mu\text{m}$ 未満とする。また、この粗大共晶炭化物等が応力集中源となることから、疲労寿命、靱性等を低下させ、さらには基地中のCr濃度が不足して耐食性が低下する。本発明の転がり軸受の内輪、外輪、転動体のうち少なくとも一つを構成する鋼は炭素含有量が低く、窒素を含有しているために、共晶炭化物が粗大化しないか、あるいは全く生じないで、微細な2次炭化物あるいは窒化物等が析出して強度を高める。

【0069】また、共晶炭化物あるいは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下であっても、焼入れ（サブゼロ処理）、焼戻し後の硬さがHRC58以上でないと十分な疲労強度が得られない。

【0070】しかして、上記の条件を満たして得られる音響特性、疲労寿命、耐食性、耐摩耗性等を兼備した転がり軸受を、比較的高温な環境で使用する場合があります。そのような場合の条件とその臨界的意義は、次の通りである。

【0071】【含有する共晶炭化物あるいは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下、焼入れ及びサブゼロ処理後、 400°C 以上 600°C 以下の温度で焼戻されて、かつ焼戻し後の硬さがHRC58以上】含有する共晶炭化物あるいは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下である理由は、前記内容と同様であるが、軸受が比較的高温で使用される場合は寸法安定性を考慮して使用温度よりも高い温度で焼戻される。従来のステンレス鋼であると焼戻し温度が高くなると次第に軟化して、疲労強度が低下し、耐摩耗性が劣化する。しかし、本発明の転がり軸受に用いる鋼は2次硬化に作用する元素としてNあるいはMo、V等を含有している。そのため、焼戻し温度が 400°C 以上 600°C 以下であれば、微細な窒化物（炭窒化物）が析出してHRC58以上の硬度が維持され、高い耐摩耗性が得られるのである。より好ましい硬度HRC60以上とするには、焼戻し温度は 450°C ～ 525°C が望ましい。

【0072】更に、【共晶炭化物及びその他未固溶炭化物がないか又はその大きさが $2\mu\text{m}$ 以下、面積率で5%以下】とする理由は次の通りである。基地中に粗大な炭化物が存在するとその近傍ではCrが欠乏して局部腐食

を受けやすくなる。特に、製鋼時の凝固過程で生成する共晶炭化物は粗大化しやすく、その後の熱処理では基地中に溶解し難く、耐食性においては著しく有害である。また、その大きさが長径で $5\mu\text{m}$ を超えると疲労寿命にも悪影響を及ぼすようになるので、その存在は好ましくない。また、共晶炭化物が存在しないような場合であっても、その他に2次的に析出した未固溶炭化物が存在するが、それら共晶炭化物及びその他未固溶炭化物の大きさが $2\mu\text{m}$ を超えると著しく耐局部腐食性が低下するのでそれらの大きさを $2\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $1.5\mu\text{m}$ 以下に限定する。

【0073】また、炭化物が微細であってもその量が面積率で5%を超えると不働態化特性が著しく低下するため、その量を面積率で5%以下、好ましくは3%以下に限定する。

【0074】【残留オーステナイト γ_R 】音響特性は一般に共晶炭化物の大きさ等に大きく影響されるが、一方で、 γ_R が多いと衝撃荷重あるいは γ_R 分解等による精度低下に起因して音響特性が劣化する。特に音響特性が重視される用途で用いられる軸受の場合では、 γ_R を6体積%以下とすることによって、耐衝撃性が著しく向上し、音響劣化を防止できる。その効果を十分に発揮するためには望ましくは4体積%以下とする。

【0075】【転動体；セラミックス材料】転動体、または軌道輪の一方にセラミックス材料を用いることにより、潤滑不良における磨耗を低減でき、さらに、高速化にも対応できる。また、セラミックスは金属材料に比べて耐食性が著しく良好な上に、絶縁体であるため異種金属との接触によるガルバニ腐食も抑制できる。しかし、セラミックスは強度、コストの面で軌道輪に用いるのは好ましくない。したがって、転動体のみにセラミックスを用いることができる。しかし、転動体にセラミックスを用いる場合には、セラミックスはほとんど弾性変形しないため、転動体に金属材料を用いた場合よりも軌道輪は高面圧を受ける。軌道輪にSUS440C等に見られるような粗大な共晶炭化物が存在すると、潤滑不良下、特に水中等で使用される場合には、粗大な共晶炭化物において応力集中して、表面疲労の剥離が生じる。

【0076】本願発明鋼は応力集中源となる粗大な炭化物が存在しないので、転動体にセラミックスを用いても良好な寿命が得られ、さらに耐摩耗性、耐食性も良好であるため、腐食環境・潤滑不良下、例えば、水中等で使用されるような転がり軸受の適用に好ましい。

【0077】【C量とCr、N量との関係】Cr含有量が高く、炭素含有量が低い場合には、 δ フェライトが生成して靱性を著しく低下させるのであるが、窒素添加によって δ フェライトが生成する炭素濃度は低くなる。炭素濃度の下限を $\text{C}\% \geq 0.04$ $\text{Cr}\% - 0.83$ $\text{N}\% - 0.39$ とすることによって δ フェライトの生成を抑制できる。

【0078】また、炭素濃度の上限を $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ に限定しないと、 $20\mu m$ 以上の粗大な1次共晶炭化物が生成して、音響特性、疲労寿命を低下させる(図5)。

【0079】なお、 $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ であっても、製鋼時の凝固速度等の影響で1次共晶炭化物が $5 \sim 20\mu m$ 程度あるいはそれ以上に粗大化する場合もたびたび見られるが、本発明の転がり軸受に使用するステンレス鋼にあっては、共晶炭化物の粗大化を抑制する窒素を含有しているので、 $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ を満足すれば $20\mu m$ 以上には粗大化しないか、あるいは全く共晶炭化物が生じないで微細な2次炭化物もしくは窒化物が析出して強度を高める。

【0080】図4-a及び図4-bは、炭素CおよびクロムCrに関して本願発明に係る領域を示すもので、特に図4-bは炭素量の上限を0.5重量%とした、より好ましい態様の場合を示している。いずれの場合も、既に述べたC及びCrの上、下限値に加え、ここで述べているCとCr及びNとの関係式によって規定される。即ち図4-a、図4-b中の直線Iは $C\% = -0.05Cr\% + 1.41$ を表し、直線Iより上側では共晶炭化物が粗大化し、直線Iおよびその下側では共晶炭化物の粗大化が抑制される。また、図4-a、図4-b中の直線IIは $C\% = 0.04Cr\% - 0.83N\% - 0.39$ *

*〔但し、図では $N = 0.2$ 重量%の場合を示している。本発明のNの範囲は $0.05 \sim 0.2$ 重量%未満であるから、N量により、この範囲内で直線IIは変化する(N量の低下に伴い図より上側に平行にずれる)。〕を表し、直線IIより下側では δ フェライトが生成され、直線II上及びこれより上側では δ フェライトの生成が抑制される。

【0081】以上をまとめると、本発明の転がり軸受の内輪、外輪、転動体のうち少なくとも一つのC及びCrのとり得る範囲は、(Nが上限値の場合で)図4-aの網目模様入りの領域で表されるということになる。更に、耐食性の観点から、より望ましくは図4-bの網目模様入りの領域で表される範囲となる。

【0082】Cについては、耐食性の点から図9のように 0.45 重量%未満とすることで、より安定した好耐食性が得られる。

(実施例)次に、本発明に係る発明の実施例を説明する。

【0083】先ず、本発明の転がり軸受その他の転動装置(A)の実施例で用いた鋼A~G及び比較例の鋼H~Mの合金成分を表1に示す。

【0084】

【表1】

	記号	C	Cr	Mn	Si	Mo	V	N
実施例	A	0.38	12.30	0.64	0.60	—	—	0.07
	B	0.40	15.45	0.55	0.50	1.06	—	0.17
	C	0.45	15.10	0.58	0.48	0.48	1.01	0.19
	D	0.32	12.90	0.58	0.42	0.97	—	0.16
	E	0.39	14.95	0.52	0.57	—	—	0.11
	F	0.48	14.89	0.53	0.48	0.54	0.62	0.18
	G	0.50	15.86	0.55	0.45	—	—	0.12
比較例	H	0.64	12.60	0.59	0.36	0.04	—	—
	I	1.02	17.12	0.59	0.36	0.40	—	—
	J	0.22	14.83	0.57	0.41	0.27	—	0.17
	K	0.22	19.83	0.57	0.41	0.87	—	0.18
	L	0.68	14.93	0.54	0.38	—	—	—
	M	0.76	15.82	0.52	0.53	—	—	0.10

また、熱処理条件は加熱温度を $1020^{\circ}\text{C} \sim 1080^{\circ}\text{C}$ とし、 60°C の焼入油中に焼入れ後、直ちに $-80^{\circ}\text{C} \times 1$ 時間のサブゼロ処理を行い、 $180 \sim 220^{\circ}\text{C} \times 2$ 時間または $480 \sim 520^{\circ}\text{C} \times 2$ 時間 $\times 2$ 回の焼戻しを行った。表1における比較例のK鋼は $0.04Cr\% - 0.83N\% - 0.39 \leq C\%$ を満足しておらず、 δ フェライトの生成が認められたので、その後の評価は行わ ※

※なかった。

【0085】表1の各鋼種の供試材から採取した試験片について行った熱処理品質及び塩水噴霧、孔食電位測定による耐食性評価の結果、並びに音響試験、耐摩耗性、疲労寿命評価の結果を、表2に示す。

【0086】

【表2】

試験片No	鋼種	焼戻	硬さ HRC	共晶炭化物 長径(μm)	γ _R (%)	孔食電位 mV _{vs SCE}	塩水噴霧 (50hr後)	音響試験		摩耗率 (×10 ⁻³ g/m ²)	寿命 ×10 ⁷ h
								音響特性	音響劣化		
1	A	180~220℃	58.6	3μm以下	6	176	○	0.4	0.7	0.68	9.7
2	B	180~220℃	60.1	3μm以下	9	216	○	0.4	0.9	0.56	10.1
3	C	180~220℃	59.8	3μm以下	10	198	○	0.4	0.9	0.52	11.4
4	C	480~520℃	61.2	3μm以下	4%以下	72	○	0.4	0.4	0.18	10.7
5	D	180~220℃	59.2	3μm以下	7	220	○	0.4	0.8	0.57	11.2
6	D	480~520℃	60.7	3μm以下	4%以下	126	○	0.4	0.4	0.20	10.8
7	E	180~220℃	59.8	3μm以下	7	206	○	0.4	0.7	0.60	10.3
8	E	480~520℃	60.1	3μm以下	4%以下	98	○	0.5	0.5	0.22	12.6
9	F	180~220℃	59.4	3μm以下	10	112	○	0.4	0.8	0.55	11.5
10	F	480~520℃	60.9	3μm以下	4%以下	12	△	0.4	0.8	0.19	11.5
11	G	180~220℃	59.6	3μm以下	11	-14	△	0.5	1.0	0.62	10.4
12	G	480~520℃	60.4	3μm以下	4%以下	-157	×	0.5	0.5	0.21	11.2
13	H	180~220℃	58.2	6μm	8	-187	×	0.6	1.0	0.68	7.6
14	H	480~520℃	55.4	6μm	4%以下	-267	×	0.6	0.7	1.12	1.9
15	I	180~220℃	59.7	23μm	11	-194	×	2.4	2.6	0.49	1.7
16	I	480~520℃	56.8	23μm	4%以下	-298	×	2.5	2.5	0.87	1.1
17	J	180~220℃	56.4	3μm以下	6	254	○	0.5	0.8	0.95	5.2
18	L	180~220℃	58.7	18μm	9	-189	×	1.2	1.7	0.60	5.4
19	M	180~220℃	59.5	17μm	12	-175	×	0.9	1.6	0.50	6.3

実施例

比較例

さらに、図6に、実施例と比較例とのアノード分極曲線測定結果を示した。塩水噴霧試験は、JIS規格Z2371に準拠し、温度35℃で5%NaCl溶液を用いて行い、試験時間50時間後の試験片の外観で判定した。表2中、◎は全く発錆しなかったもの、○は僅かに発錆が見られたもの、△はほぼ全面で発錆したもの、×は著しく発錆したものを表す。

【0087】また、孔食電位測定は、JIS規格G0577に準拠して行った。まず研磨紙で800番まで研磨した試験片を60℃の30%HNO₃溶液中に1時間浸漬して不働態化处理し、その後30℃、3.5%NaCl * 50

* 1溶液中で電位掃引速度20mV/minで掃引し、アノード電流密度が100μA/cm²に達したときのmVvsSCEで評価した。

【0088】アノード分極曲線測定はJIS規格G0579に準拠して行い、研磨紙で1200番まで研磨した試験片を30℃の5%H₂SO₄溶液中でカソード処理した後、スイープ速度20mV/minで1200mVvsSCEまで測定した。

【0089】摩耗試験は、図7に示す2円筒摩耗試験機を用いて以下の条件で行った。この摩耗試験機は、上下に対向させた一對の円筒10にそれぞれ試験片Sを装着

して、上から荷重Pを負荷しながら互いに接触状態で逆方向に低速で回転させて両試験片Sの磨耗率（g/m）の平均値を求めるものである。なお、相手材はすべて同一材で評価した。

【0090】荷重 : 50 kgf

回転数 : 200 rpm

すべり率 : 30%

潤滑 : S10

寿命試験は、森式スラスト転がり寿命試験機を用い、以下の試験条件で行った。

【0091】面圧 : 4900 MPa

回転数 : 1000 rpm

潤滑油 : 68番タービン油

音響特性は、表1の鋼種を用いて製作した転がり軸受

（625）を被検体とし、図8に示すようなHDDスピンドルモータに予圧をかけた状態で組み込んで回転試験を行い、初期アンデロン値（ハイバンド）の測定を行って評価した。図8において、外輪1と内輪2と転動体としての玉3とを備えた被検体の転がり軸受Wは、外輪1をモータスリーブ7に、内輪2をモータ軸8にそれぞれ嵌合して装着される。モータ部9の回転駆動力で転がり軸受Wを介してモータ軸8を回転させる。この場合の、転がり軸受Wは内輪回転で駆動される。

【0092】また、衝撃荷重による音響劣化度合いを測定するために、上記スピンドルモータをそれぞれと落下させて10 kgの衝撃荷重を加えて、同様の回転試験を行い、初期アンデロン値（ハイバンド）の測定を行った。

【0093】図9、図10に、炭素、窒素濃度と耐食性との関係を示した。図9から、転動装置を構成する合金組成中の炭素濃度が多くなると次第に転動装置の耐食性は低下する。そして、0.6重量%以上となると共晶炭化物の形成が促進されて耐食性は急激に著しい低下を示すことが明らかである。一方、図10から、転動装置の合金組成に窒素を0.05重量%以上含有させてあると、炭素含有量の低下との相乗効果により耐食性が飛躍的に向上することが明らかである。また、窒素を添加しても、炭素含有量が0.5重量%以上であると耐食性が改善されない。本発明の転がり軸受その他の転動装置にあっては、表1に示されるように（実施例A～G）、その合金成分の炭素濃度が0.6重量%未満であり、さらに窒素濃度が0.05～0.2重量%未満の範囲内で添加されているから、特に鋼種A～Fのものでは孔食電位測定、塩水噴霧による耐食性評価の結果（表2の試験片No. 1～10）に示される通り耐食性は著しく良好または良好である。但し、試験片No. 11及び12は、Cが0.5重量%であり寿命は良いが、鋼種A～Fに比べると耐食性がやや劣っている。従って、特に耐食性が重視される場合では、炭素濃度は、より好ましくは0.5重量%未満（さらに好ましくは0.45重量%未満）とする。窒素を含有しない比較例H、I、Lの鋼種のも

の（表2の試験片No. 13～16及び18）は、低い耐食性を示している。

【0094】また、実施例の場合は、高温焼戻し後においても良好な耐食性を示した（表2の実施例における試験片No. 4, 6, 8, 10）。これに対して比較例のものは高温で焼戻しすることにより耐食性が一層低下し、塩水噴霧試験においても著しい発錆が認められた（表2の比較例における試験片No. 14, 16）。

【0095】図11は、実施例の鋼種C及びEと比較例の鋼種Hにおける、焼戻し温度と硬さとの関係をプロットしてグラフに表したものである。比較例の鋼種Hでは焼戻し温度が高くなると次第に軟化するのに対して、実施例の鋼種C及びEの場合には2次硬化するため500℃で焼戻ししても硬さHRC58以上を保持している。

【0096】さらに、表2からも明らかなように、実施例のNo. 8では2次硬化により硬くて微細な窒化物（炭窒化物）等が析出するために、磨耗率が比較例のNo. 14の1.12に対して0.22とおよそ1/5になり、耐磨耗性が格段に高くなっている。なお、図12に示すように、実施例の鋼種におけるこれらの窒化物等は熱的に安定であるために、高温における硬さも比較例の鋼種より高いという結果が得られた。

【0097】音響特性についてみると、実施例の場合はC含有量の下限値がC%≤0.05Cr%+1.41を満足しているため、粗大な共晶炭化物等がなく、ほとんどの場合において長径3μm以下の微細な炭化物あるいは窒化物（炭窒化物）を形成しており、音響特性が著しく良好である。

【0098】寿命については、図13に炭素含有量と窒素含有量との和C+Nと寿命との関係を示す。すなわち、C+Nが0.45重量%以下であると、その固溶量が不足して寿命が低下し、また、C+Nが0.7～0.8重量%以上では共晶炭化物の粗大化あるいは残留オーステナイト量の増大等によって寿命が低下した。

【0099】比較例の個々の試験片についての評価は以下の通りである。比較例No. 13はC%≤0.05Cr%+1.41を満足しているが、窒素が含有されていないために、共晶炭化物は実施例の鋼種よりもやや粗大化して十分な耐食性が得られない。

【0100】比較例No. 14は同No. 13と同じ鋼種のもを高温で焼戻した場合の例であるが、硬さ、耐磨耗性、寿命が低下したうえに耐食性も劣化した。比較例No. 15は、従来の鋼種であるSUS440Cの例であるが、C%≤0.05Cr%+1.41を満足していないため、粗大な共晶炭化物が形成されて疲労寿命が著しく低下している。

【0101】比較例No. 16は、SUS440Cを高温焼戻した場合の例であるが、比比較No. 14と同じく、硬さ、耐磨耗性、寿命が低下したうえに耐食性も劣化している。

【0102】比較例No. 17は、窒素を含有してはいるが炭素濃度が低く、炭素+窒素の総含有量が0.45重量%に満たない場合の例であり、良好な耐食性は有しているものの炭素+窒素の固溶量が不足して十分な硬度が得られず、疲労寿命が低下している。

【0103】以上の評価に対して、実施例の場合は、図6のアノード分極曲線に示されるように、比較例のものに比べて著しく良好な耐食性を有しており、高温で焼戻 *

* じされた場合（実施例の試験片No. 4, 6, 8, 10）でさえ良好な耐食性を保持している。

【0104】続いて、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置（B）の実施例を説明する。本発明の転がり軸受その他の転動装置（B）の実施例で用いた鋼N~R及び比較例の鋼S~Vの合金成分を表3に示す。

【0105】

【表3】

	記号	C	Cr	Mn	Si	Mo	V	N	C+N
実施例	N	0.33	12.30	0.32	0.50	—	—	0.12	0.45
	O	0.37	12.85	0.34	0.42	0.97	—	0.13	0.50
	P	0.40	12.50	0.41	0.48	0.48	0.82	0.14	0.54
	Q	0.44	12.12	0.28	0.42	0.97	—	0.13	0.57
	R	0.39	13.25	0.38	0.57	—	—	0.11	0.50
比較例	S	0.45	15.18	0.55	0.50	—	—	0.17	0.62
	T	0.39	14.95	0.52	0.57	—	—	0.13	0.52
	U	0.48	15.23	0.61	0.57	—	—	0.14	0.62
	V	0.69	13.24	0.57	0.39	—	—	—	0.69

また、熱処理条件は加熱温度を1000℃~1120℃とし、60℃の焼入油中に焼入れ後、直ちに-190℃×20分間のサブゼロ処理を行い、160~220℃×2時間または480~520℃×2時間×2回の焼戻しを行った。

※ 【0106】表4に、それらの供試片の熱処理品質及び塩水噴霧試験、孔食電位測定による耐食性評価の結果、並びに音響試験、疲労寿命評価の結果を示した。

【0107】

※ 【表4】

試験片No	種類	処理	硬さ H _A C	未固溶炭化物 5%平均(μm)	未固溶炭化物 面積率	γ ₂ (%)	孔食電位 mVvsSCE	塩水噴霧 (50h後)	音響試験 (High Band)	寿命 × 10 ⁷ cycles
B-1	N	160~220℃	61.1	0.6	0.01	3	286	○	0.3	11.5
B-2	N	160~220℃	61.3	0.0	0.00	4	293	○	0.3	9.7
B-3	O	160~220℃	61.3	0.7	0.02	3	298	○	0.3	12.4
B-4	P	160~220℃	62.5	0.8	0.03	5	280	○	0.3	11.8
B-5	Q	160~220℃	61.7	1.1	0.03	4	276	○	0.3	10.2
B-6	R	160~220℃	61.1	0.8	0.02	3	288	○	0.3	12.6
B-7	O	480~520℃	61.5	—	—	0	195	○	0.3	11.7
B-8	P	480~520℃	61.7	—	—	0	196	○	0.3	10.9
B-9	R	480~520℃	61.6	—	—	0	202	○	0.3	12.3
B-10	S	160~220℃	60.1	1.2	0.07	9	141	○	0.4	10.1
B-11	T	160~220℃	60.3	0.8	0.06	7	157	○	0.4	10.7
B-12	U	160~220℃	61.4	2.1	0.05	10	133	○	0.5	8.8
B-13	S	160~220℃	56.4	0.8	0.02	39	281	○	0.3	6.2
B-14	T	160~220℃	56.7	0.8	0.02	33	306	○	0.3	4.9
B-15	V	160~220℃	58.8	3.4	0.07	9	-192	×	0.8	5.6

表4中の「未固溶炭化物、5%平均(μm)」は、次の方法で求めた。走査型電子顕微鏡(例えば倍率3000倍)の1視野内の写真を撮り、写真にある未固溶炭化物をランダムに100個抽出し、それらを画像解析処理して未固溶炭化物の長径(a)と短径(b)との平均粒径 $1/2(a+b)$ を求めてその平均粒径を大きい順に並べ、100個の内の5%つまり5個の未固溶炭化物の平均粒径値を次式(1)で求めた。

【0108】

【数1】

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{2}(a_i + b_i) / n \quad \dots\dots (1)$$

なお、上記のように走査型電子顕微鏡を用いる他に、光

* 学顕微鏡画像解析装置で自動的に算出して求めることもできる。

40 【0109】塩水噴霧試験は、上記と同様にJIS規格Z2371に準拠して行い、試験時間100時間後の試験片の外観で判定した。表4中、○は全く発錆しなかったもの、○は僅かに発錆が見られたもの、×は著しい発錆が見られたものを表す。

【0110】また、孔食電位測定はJIS規格G0577に準拠し、アノード分極曲線測定はJIS規格G0579に準拠してそれぞれ上記と同様の方法に依った。音響試験も上記と全く同様に、図8に示すHDDスピンドルモータを用いて行った。

【0111】寿命試験もまた上記同様、森式スラスト転

がり寿命試験機を用いて同一試験条件で行った。図14に、未固溶炭化物の大きさ及び面積率と塩水噴霧試験の評価結果の関係を示した。本実施例の転がり軸受(B)に係る鋼は、未固溶炭化物の大きさが $2\mu\text{m}$ 以下であり、その量も面積率で5%以下であるから、塩水噴霧試験で良好な耐食性を示した。比較例は窒素が添加されていないか、もしくは未固溶炭化物の大きさが $2\mu\text{m}$ 以上あるいはその量が面積率で5%以上であるため、耐食性が本実施例のものに比べて劣っている。

【0112】すなわち、局部腐食の起点となる粗大化した炭化物や偏析等をできるだけ低減させて、均一なマルテンサイト組織を得ることによって、その合金組成が本来備えている耐食性を発揮することが可能になると考えられる。本実施例は未固溶炭化物の平均粒子径が $2\mu\text{m}$ 以下、面積率が5%以下であり、すべてにおいて高い硬度と耐食性を有し、音響特性や寿命においても良好な結果を示した。さらに、残留オーステナイトを分解するために 500°C 程度の高温で焼戻しても高い耐食性を維持し続け、焼戻過程で窒素の効果により2次硬化するため、従来のマルテンサイト系ステンレス鋼に見られるような硬度低下も抑制できる。

【0113】比較例No. B-10~12は窒素添加してはいるが、未固溶炭化物の大きさあるいは量が大きいために本実施例の鋼に比較してやや耐食性が劣っている。比較例No. B-13~14はNo. 10~12に比べて高温で焼入した場合の例であるが、Cr含有量と*

* N含有量が多いために基地中のMs点が下がり、多量の残留オーステナイトが生じて硬さ及び寿命が低下した。

【0114】比較例No. B-15は従来のマルテンサイト系ステンレス鋼の例であるが、窒素が含有されていないため著しく耐食性が劣っている。さらに炭化物も窒素を添加した場合に比べて粗大化して、最大長径で $23\mu\text{m}$ もの共晶炭化物が生成して疲労寿命が劣化した。

【0115】以上説明したように、本発明の転がり軸受その他の転動装置(B)に係る発明は、従来のマルテンサイト系ステンレス鋼よりも寿命、音響特性等に優れた転がり軸受その他の転動装置、特に耐食性が良好な転がり軸受その他の転動装置を提供するものである。

【0116】更に続いて、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置(C)ないし転がり軸受その他の転動装置(D)の実施例を説明する。この実施例において転動装置である転がり軸受を構成する軌道輪に用いた鋼は、さきに述べた実施例で用いた表1~表4の中から選定した。一方、転動体の材料はセラミックスの窒化ケイ素を用いた。

【0117】表5に示すような組み合わせの実施例と比較例とについて、水中寿命試験を行って性能を比較した。表5で、軌道輪の試験片No.の欄の記号は、表2、表3の試験片No.と対応している。

【0118】

【表5】

	No.	軌道輪の 試験片No.	ボール	寿命 ($\times 10^4$ 回転)
実施例	1	2	窒化ケイ素	15.7
	2	3	窒化ケイ素	17.3
	3	4	窒化ケイ素	42.2
	4	B-8	窒化ケイ素	37.4
	5	B-6	窒化ケイ素	16.4
	6	B-9	窒化ケイ素	35.6
	7	10	窒化ケイ素	37.6
比較例	8	2	SUS440C	0.87
	9	3	SUS440C	0.86
	10	4	SUS440C	2.47
	11	B-8	SUS440C	1.81
	12	B-6	SUS440C	0.84
	13	B-9	SUS440C	1.68
	14	10	SUS440C	2.35
	15	13	SUS440C	0.83
	16	15	SUS440C	0.92
	17	18	SUS440C	0.86
	18	13	窒化ケイ素	3.2
	19	15	窒化ケイ素	2.8
	20	18	窒化ケイ素	2.6

水中寿命試験は、図15に示すような水中スラスト寿命試験機を用い、スラスト転がり軸受Wsを被試験体として水中に保持し、水道水をオーバーフローさせながら行った。図15において、外輪1s、内輪2s、転動体としての玉3s、保持器4sを備えた被検体の転がり軸受Wsは、外輪1sを固定支持し、内輪2sを回転軸に

※より回転させた。

【0119】寿命判定は、加速度ピックアップにより検出した振動レベルが初期値の5倍程度に達した時点を軸受寿命とした。以下に、水中スラスト寿命試験条件を示す。

※50 【0120】荷重: 150kgf

回転数：1000rpm

転動体：窒化ケイ素（ハイブリッドの場合）又はSUS440c

転動体個数は6個

試験軸受：スラスト玉軸受51305

保持器：フッ素樹脂

試験結果を表5に示した。また、図16に、摩耗速度と寿命との関係を示した。図16中の摩耗速度（横軸）

は、内輪、外輪の一つの軌道輪に対し、その6箇所（非剥離部）の寸法変化量を測定して平均値を求め、その値を摩耗量として寿命時間で除したものである。

【0121】表5及び図16より明らかなように、水中寿命試験においては、軌道輪及び転動体の両方共ステンレス鋼を用いたオールステンレスの軸受の場合は全て短寿命であった。これは、先にも述べたように、水中などのように著しく潤滑条件が厳しい場合には、軌道輪と転動体とが直接接触して著しい摩耗が生じるためであり、その破損形態はすべて摩耗損傷であって、剥離損傷ではなかった。すなわち、オールステンレス軸受の寿命は耐摩耗性に強く依存し、本願発明鋼の高温焼戻したものがやや長寿命であったが、その他は比較鋼との間に明瞭な差が認められない。

【0122】これに対し、軌道輪に本発明のステンレス鋼を、転動体にはセラミックスを用いてハイブリッド化した実施例の軸受にあつては、著しく摩耗が抑制されて長寿命化することが認められる。特に、2円筒摩耗試験の結果が良好な耐摩耗性を示したNo. 4, No. B-8, No. B-9, No. 10で軌道輪を構成した各実施例において更に長寿命となる傾向にある。

【0123】しかし、同じくハイブリッド軸受ではあつても、軌道輪を比較例No. 13, No. 15, No. 18としたものでは、転動体にセラミックスを用いることで摩耗は低減できるが、破損形態が摩耗損傷から剥離

* 損傷へと変化したため寿命が改善されなかった。これは、ハイブリッド化によって軌道輪が受ける面圧が大きくなったことと、軌道輪を比較例No. 13, No. 15, No. 18としたものでは、鋼中に長径5 μ m以上の粗大な共晶炭化物が内在し、それらの粗大炭化物が応力集中源として作用したためであると考えられる。

【0124】したがって、潤滑不良下、特に水中等の潤滑不良・腐食環境下において使用される転がり軸受においては、金属/金属接触を避けるために、転動体にセラミックスを用い、さらに軌道輪として用いる材料は応力集中源となるような粗大な炭化物がなく、耐食性、耐摩耗性が良好なステンレス材料であることが要求されるといえる。

【0125】なお、上記の転がり軸受その他の転動装置(C), (D)の説明では、実施例として転動体にセラミックスを用いた転がり軸受を取り上げたが、本発明はこの実施例に限定されるものではなく、リニアガイドやボールねじ等のその他の転動装置において転動体にセラミックスを使用した場合をも包含するものである。

【0126】以上の説明から、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置(C), (D)によれば、腐食環境下、特に水中等のような潤滑不良が予期されるような環境で使用される場合でさえ、耐食性、耐摩耗性、寿命等が良好で十分に機能を発揮することが可能になるといえる。

【0127】続けて、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置(E)の実施例を説明する。この実施例に用いた供試材W, X, Y, Z, R, E, Q, P及び比較例の鋼H, I, M, A', B', C'の各合金成分を表6に示す。

【0128】

【表6】

	記号	C	Cr	Mn	Si	Mo	V	Ni	Cu	N
実施例-1	W	0.42	12.96	0.32	0.25	—	—	1.49	1.51	0.08
	X	0.37	11.98	0.28	0.26	—	—	0.58	2.82	0.12
	Y	0.35	13.25	0.30	0.35	0.98	—	0.99	0.98	0.14
	Z	0.45	13.05	0.31	0.30	0.96	0.52	3.28	1.02	0.10
実施例-2	R	0.39	13.25	0.38	0.57	—	—	0.05	0.06	0.11
	E	0.39	14.95	0.52	0.57	—	—	0.06	0.07	0.11
	Q	0.44	12.12	0.28	0.42	0.97	—	0.05	0.07	0.13
	P	0.40	12.50	0.41	0.48	0.48	0.82	0.05	0.07	0.14
比較例	H	0.64	12.60	0.59	0.36	0.04	—	—	—	—
	I	1.02	17.12	0.59	0.36	0.40	—	—	—	—
	M	0.76	15.82	0.52	0.53	—	—	—	—	0.10
	A'	0.44	13.15	0.45	0.37	—	—	3.68	0.49	0.14
	B'	0.43	13.08	0.43	0.35	—	—	1.02	3.26	0.13
	C'	0.42	13.02	0.59	0.38	—	—	3.17	1.99	0.13

*

なお、この表 6 中の実施例－2 の欄に示した合金記号 R, E, Q, P は前出の表 1 の実施例の欄に示した記号 E 及び表 3 の実施例の欄に示した記号 R, Q, P の各記号にそれぞれ対応しており、これら 4 種は表 1, 表 3 では省略したが、微量の Ni と Cu を含んでおり、表 6 では Ni と Cu と併せて示している。

【0129】また、この表中の比較例の欄に示した合金記号 H, I, M は表 1 に示した合金記号と同一（組成）のものである。これらの各鋼種の供試材を用いた試験片に対して次の条件で熱処理を施した後、塩水噴霧試験、

* 硫酸及び塩酸浸漬試験、臭化リチウム溶液浸漬試験を行った。熱処理条件は、加熱温度を 1000℃～1060℃とし、60℃の焼入油中に焼入れ後、直ちに－80℃×1時間のサブゼロ処理を行い、160～220℃×2時間の焼戻しを行った。

【0130】表 7 に、各試験片の熱処理品質及び塩水噴霧試験結果、硫酸及び塩酸浸漬試験結果、臭化リチウム溶液浸漬試験結果を示す。

【0131】

* 10 【表 7】

	試験片 No.	鋼種	硬さ HRC	共晶あるいは未固溶 炭化物長径 (μm)	塩水噴霧 (1週間後)	耐LiBr性 (1週間後)	耐H ₂ SO ₄ 性 (g)		耐HCl性 (g)	
							1N	5N	1N	5N
実施例-1	C-1	W	60.0	3以下	◎	◎	0.05	0.07	0.03	0.04
	C-2	X	60.5	3以下	◎	◎	0.02	0.03	0.06	0.07
	C-3	Y	60.2	3以下	◎	◎	0.09	0.10	0.05	0.06
	C-4	Z	59.8	3以下	◎	◎	0.06	0.08	0.02	0.03
実施例-2	C-5	R	60.8	3以下	△	○	0.98	2.02	0.24	0.36
	C-6	E	60.2	3以下	○	○	0.65	1.24	0.59	0.98
	C-7	Q	61.3	3以下	○	○	0.68	0.96	0.26	0.42
	C-8	P	62.2	3以下	○	○	0.62	0.89	0.22	0.38
比較例	13	H	58.2	6	×	×	3.6	8.8	0.28	0.45
	15	I	59.7	23	×	×	2.2	4.3	0.53	0.83
	19	M	59.5	17	×	×	1.8	3.8	0.42	0.92
	C-9	A'	57.1	3以下	◎	◎	0.08	0.10	0.04	0.06
	C-10	C'	56.7	3以下	◎	◎	0.03	0.04	0.03	0.04

塩水噴霧試験は表2の場合と同じくJIS規格Z2371に準拠し、温度35℃で5%NaCl溶液を用いて行い、試験時間1週間後の試験片の外観で判定した。

【0132】硫酸及び塩酸浸漬試験は、直径18mm×厚さ10mmの試験片を、室温で1N及び5N水溶液中に20時間浸漬した際の重量減少量で評価した。図17に硫酸浸漬試験の結果、図18に塩酸浸漬試験の結果をそれぞれ示す。

【0133】臭化リチウム溶液浸漬試験は、予め当該溶

* 液をArガスで2時間バブリングして脱気した後、その溶液を温度35℃に保持し1週間浸漬して行い、試験片の外観で判定した。

【0134】また、寿命試験として、クリーン油浴潤滑下での寿命試験及び水中寿命試験を、以下の試験条件で行った。

(クリーン油浴潤滑下寿命試験) 先に、転がり軸受その他の転動装置(A)の実施例の項で説明したのと同様に行った。すなわち

試験装置：森式スラスト転がり寿命試験機

面圧：4900MPa

回転数：1000rpm

潤滑油：68番タービン油

(水中寿命試験) 先の転がり軸受その他の転動装置

(C) ないし (D) の実施例の項で説明したのと同様に
行った。すなわち

試験装置：図15に示す水中スラスト寿命試験機

荷重：150kgf

*

* 回転数：1000rpm

上記試験に使用した試験片は、スラスト玉軸受51305で、転動体は窒化ケイ素製（ハイブリッドの場合）又はSUS440C製のもの6個、保持器はフッ素樹脂製である。

【0135】上記寿命試験結果を表8に示した。

【0136】

【表8】

	試験片 No.	記号	クリーン油浴潤滑下寿命 $\times 10^7$ サイクル	水中寿命 $\times 10^6$ サイクル
実施例-1	C-1	W	11.3	17.8
	C-2	X	10.6	18.3
	C-3	Y	10.8	17.4
	C-4	Z	11.9	16.9
実施例-2	C-5	R	11.8	15.4
	C-6	E	10.6	17.1
	C-7	Q	10.7	18.3
	C-8	P	11.4	18.8
比較例	13	H	7.6	3.2
	15	I	1.7	2.8
	19	M	6.3	2.4
	C-9	A'	3.4	1.8
	C-10	C'	2.9	1.6

この実施例-1，実施例-2に記載した試験片C-1～C-8は、その合金組成中の炭素を窒素で置換したものであるため、音響や転動寿命に有害な粗大炭化物もなく、良好な転動疲労寿命が得られた。また、塩水噴霧試験や臭化リチウム溶液浸漬試験においても比較例より優れた耐食性を有していることが確認された。特に、合金成分にNi，Cuを適量添加した本願発明のものは一段と優れている。

【0137】さらに、図17，図18で明らかなように、実施例-1（W，X，Y，Z）のものは、特に耐硫酸性、耐塩酸性の点で、実施例-2や比較例と比べて優れている。実施例-2の鋼種（R，E，Q，P）は、Ni，Cuの含有量が0.5重量%を下回っており、そのため腐食環境としては最も厳しい塩酸に対する耐食性が実施例-1のものに比べると劣り、比較例のものに近くなっている。しかし、最低限必要な0.05重量%は含有しているので硫酸に対しては比較例に比べると明らかに耐食性が優れている。

【0138】これに対して、比較例A'は、Niの含有量が本発明の上限である3.5重量%を越えており、耐食性はあるが硬さ不足で転動装置としての寿命が短命になっている。

【0139】また、比較例C'は、個々の成分含有量は ※50

※本発明の範囲を満たしているのであるが、Ni，Mn，Cuの総含有量を規制する条件式 $Ni\% + 2.4Mn\% + 0.3Cu\% \leq 5.0$ を満たしていない。そのため、残留オーステナイト量が増加し、転動疲労に耐えるだけの十分な硬さが得られないこととなり、結局硬さ不足で転動装置としての寿命が短命になっている。

【0140】なお、比較例B'については、Cuの含有量が本発明の上限である3.5重量%を越えており、試験片に対して転動装置の製造工程で必要とされる熱間鍛造を行っているうちに試験片の熱間割れが発生してしまい、そのため以後の試験を行うことができなかった。

【0141】以上のように、合金成分にNiやCuを添加した本実施例の転がり軸受その他の転動装置（E）によれば、水中や塩水中、その他酸やハロゲン化物溶液等のような極めて特殊な環境においても、従来のものより耐食性に優れ、炭化物も微細であるため良好な転動疲労寿命が得られる。

【0142】なお、この転動装置（E）は基本的に前記（A）の条件を備えているものであり、かつ例えば窒化ケイ素等のセラミックスも酸を含む雰囲気中でも耐えることから、転動体をこれらセラミックスとしたものとしてもよい。

【0143】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明の転がり軸受は、その構成材料であるステンレス鋼材に関して、耐食性に悪影響を与えると共に含有量が多い場合には粗大共晶炭化物を形成して機能を低下させる成分である炭素を、同程度の固溶強化作用のある窒素で一部置換して炭素濃度を一定の範囲内に規制したことにより、従来のマルテンサイト系ステンレス鋼に比べて著しく耐食性が高く且つ粗大な共晶炭化物の形成を抑制できて、その結果、耐食性、音響特性、転がり疲労寿命、耐磨耗性、高温硬さ等に優れ、なかでも耐食性と疲労寿命が特に良好な転がり軸受を提供できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の転動装置の第 1 の実施形態である単列深溝玉軸受の部分断面図である。

【図 2】本発明の転動装置の第 2 の実施形態である小型リニアガイドの一部を切り欠いて示す正面図である。

【図 3】本発明の転動装置の第 3 の実施形態であるボールねじの要部の断面図である。

【図 4】本発明における C 量と C r 量に関する範囲を規定する説明図である。図 4-a が本発明全体、図 4-b はより好ましい態様を示す。

【図 5】共晶炭化物の大きさと音響特性との関係を示す図である。

【図 6】ステンレス鋼のアノード分極曲線測定結果を示す図である。

【図 7】2 円筒摩耗試験機の概要を示す模式図である。

【図 8】転がり軸受の音響特性測定試験の態様を示す断面図である。

【図 9】炭素濃度と耐食性との関係を示す図である。

* 【図 10】窒素濃度と耐食性との関係を示す図である。

【図 11】転がり軸受の構成材の焼戻し温度と硬さとの関係を示す図である。

【図 12】転がり軸受の構成材の高温下での温度と硬さとの関係を示す図である。

【図 13】転がり軸受の構成材における炭素と窒素の総量と軸受の寿命との関係を示す図である。

【図 14】本発明の他の実施例の、未固溶炭化物の大きさ及び面積率と塩水噴霧試験の評価結果の関係を示した図である。

【図 15】水中スラスト寿命試験機を用いた転がり軸受の試験方法を説明する断面図である。

【図 16】本発明の実施例と比較例との摩耗速度と寿命との関係を示した図である。

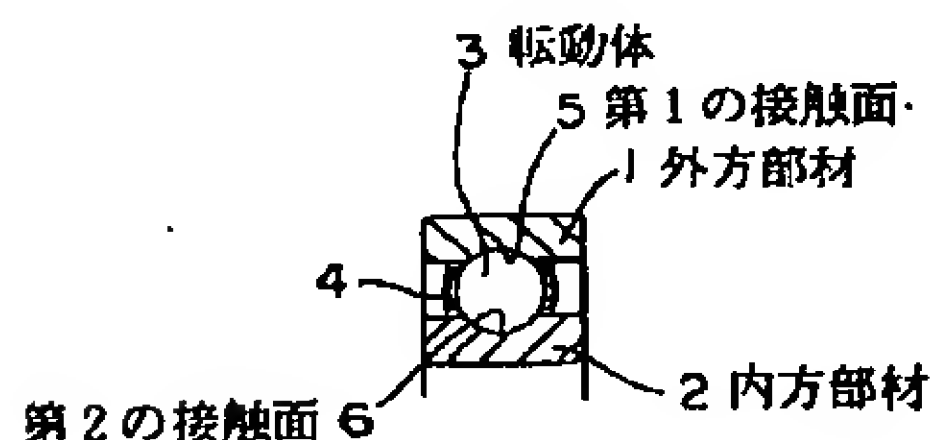
【図 17】各試験片の硫酸に対する腐食減量を表す図である。

【図 18】各試験片の塩酸に対する腐食減量を表す図である。

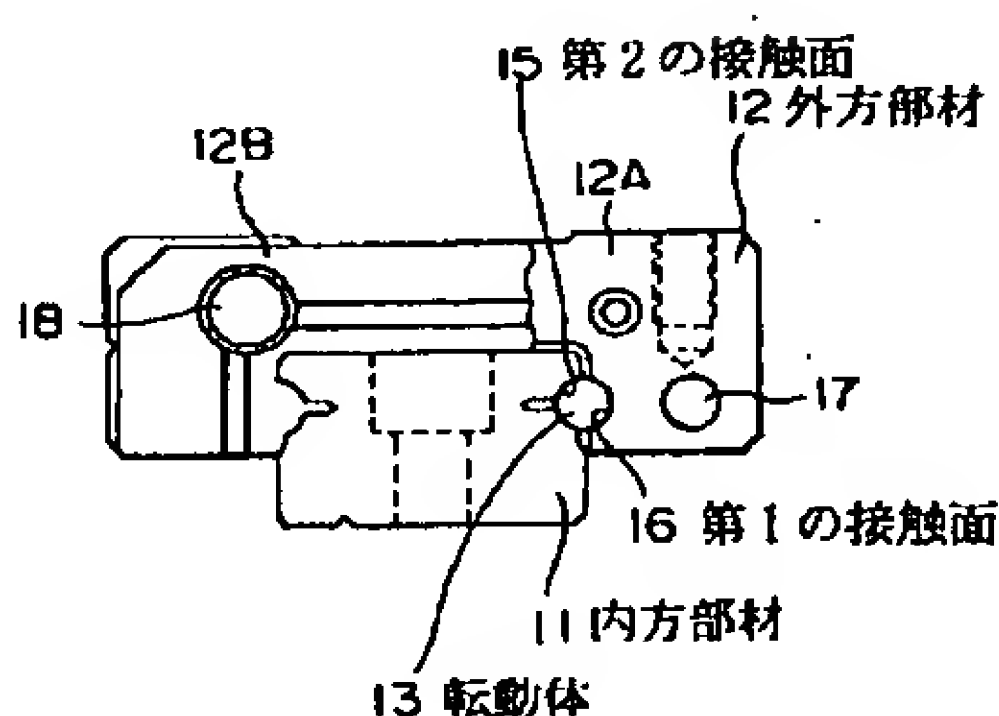
【符号の説明】

W	転がり軸受
W s	転がり軸受
1	外輪
1 s	外輪
2	内輪
2 s	内輪
3	転動体
3 s	転動体
4 s	保持器

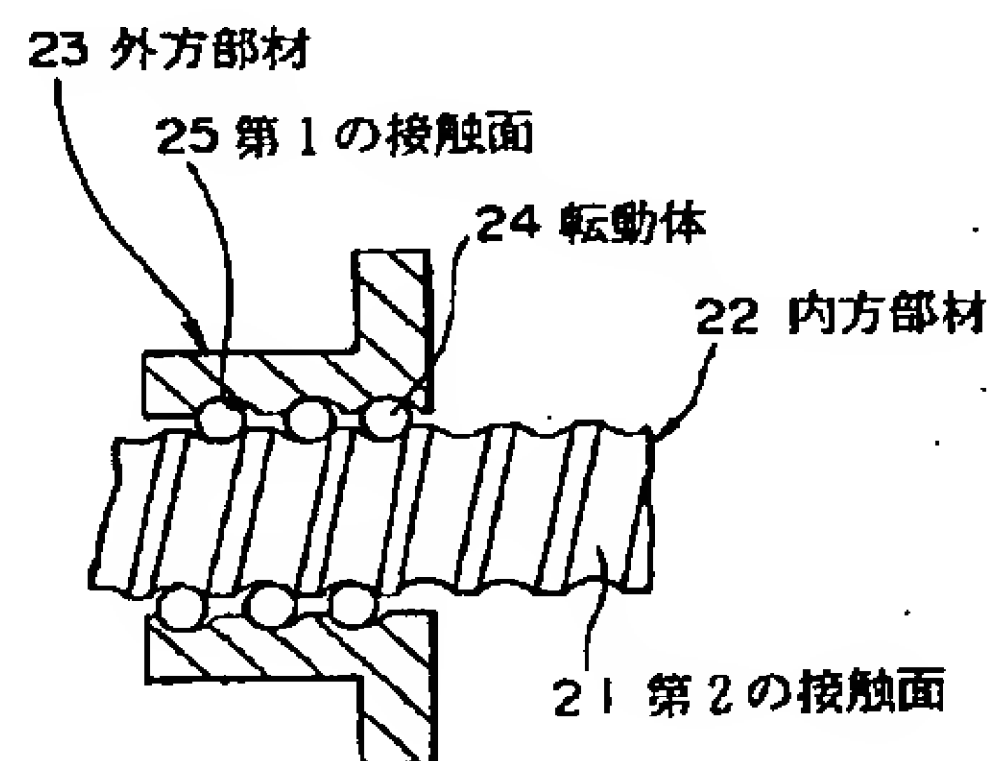
【図 1】



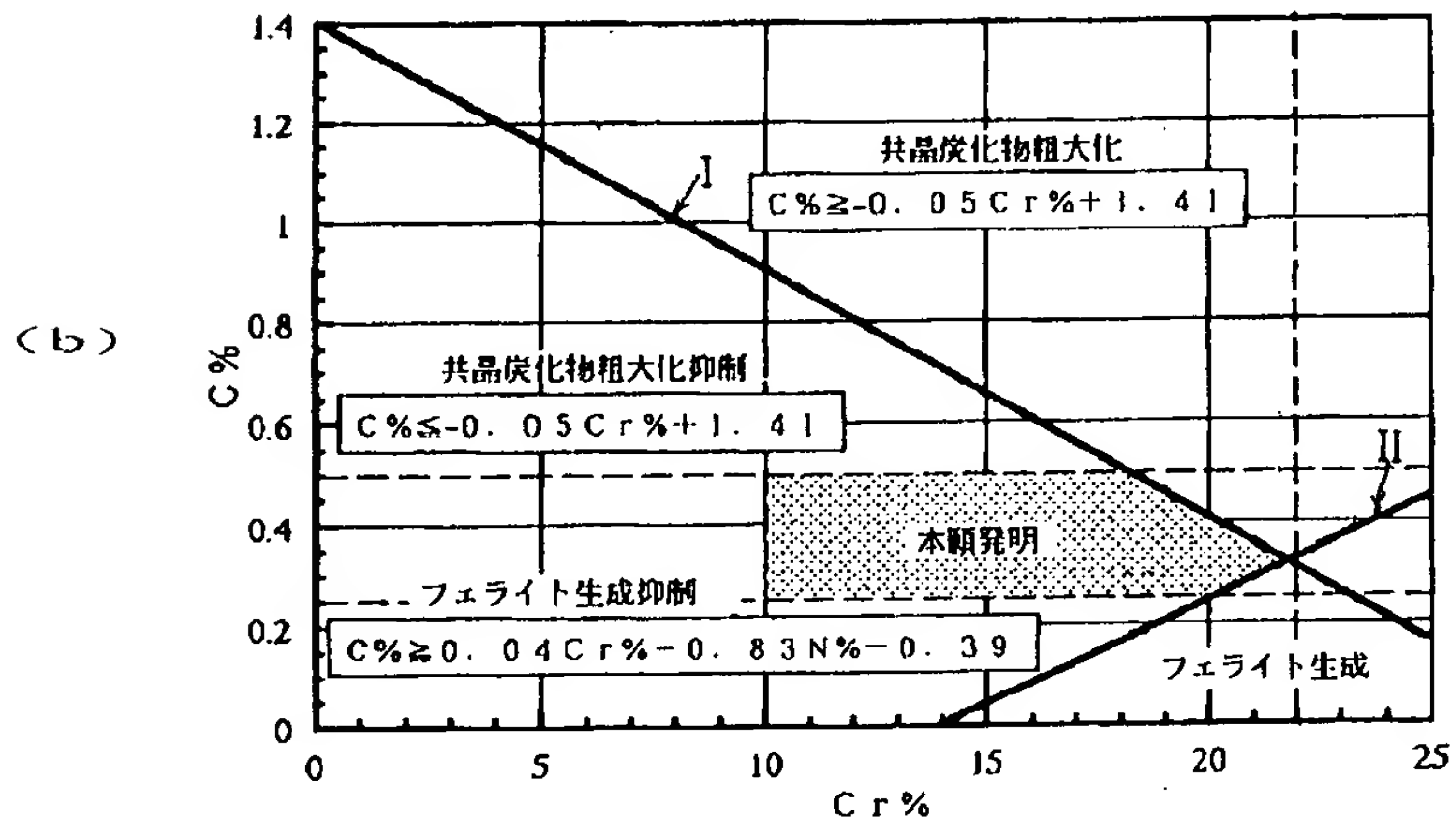
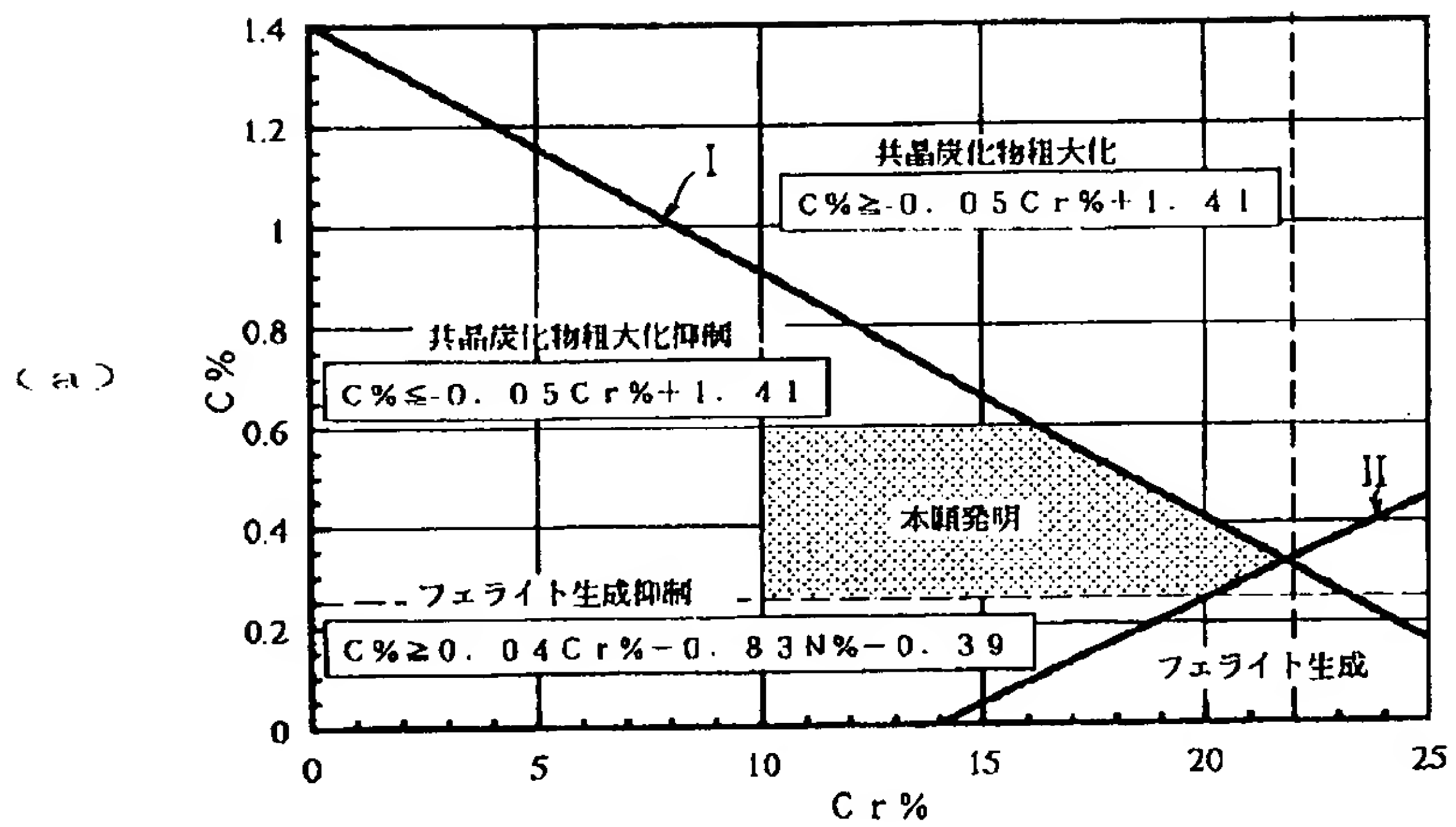
【図 2】



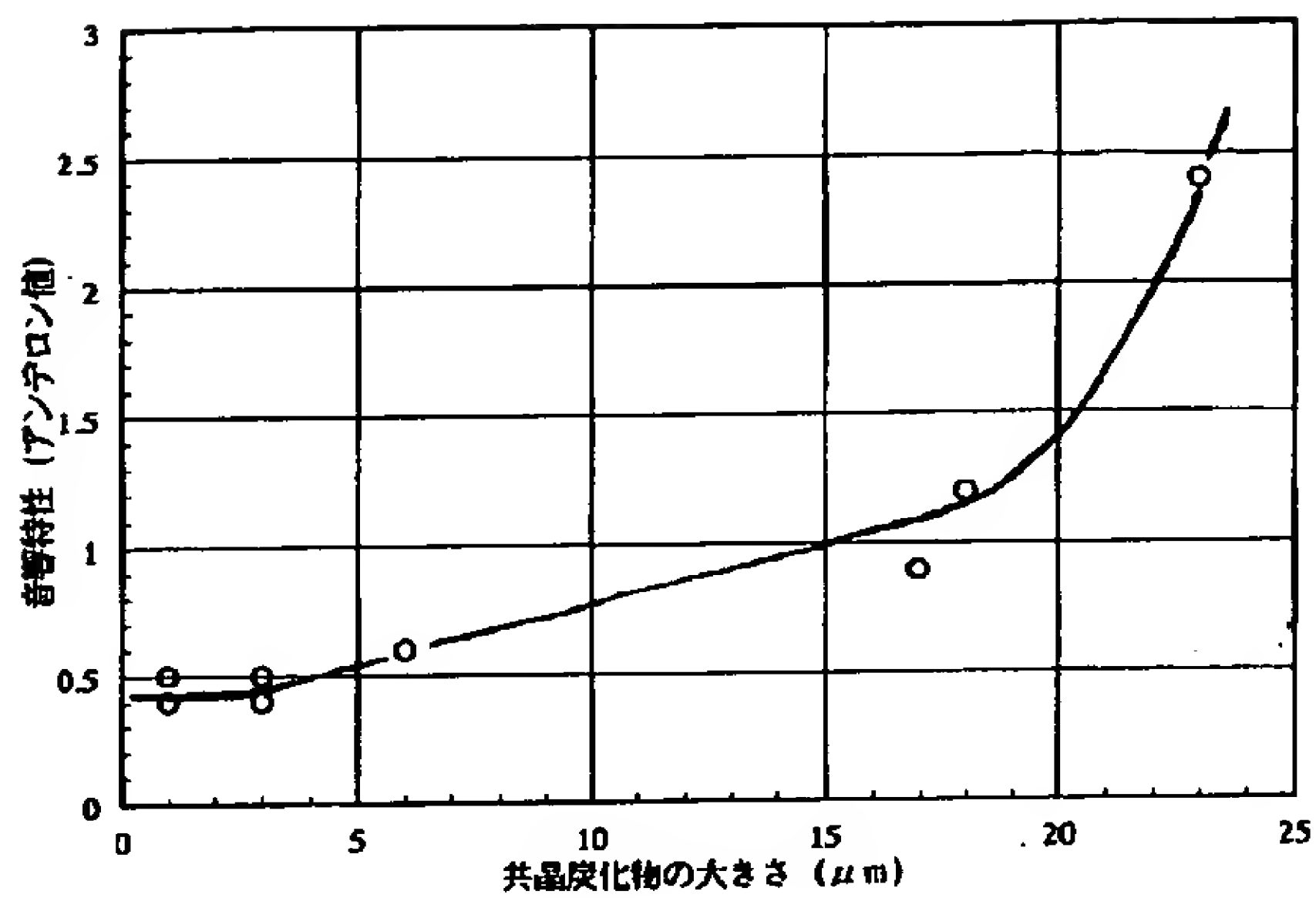
【図 3】



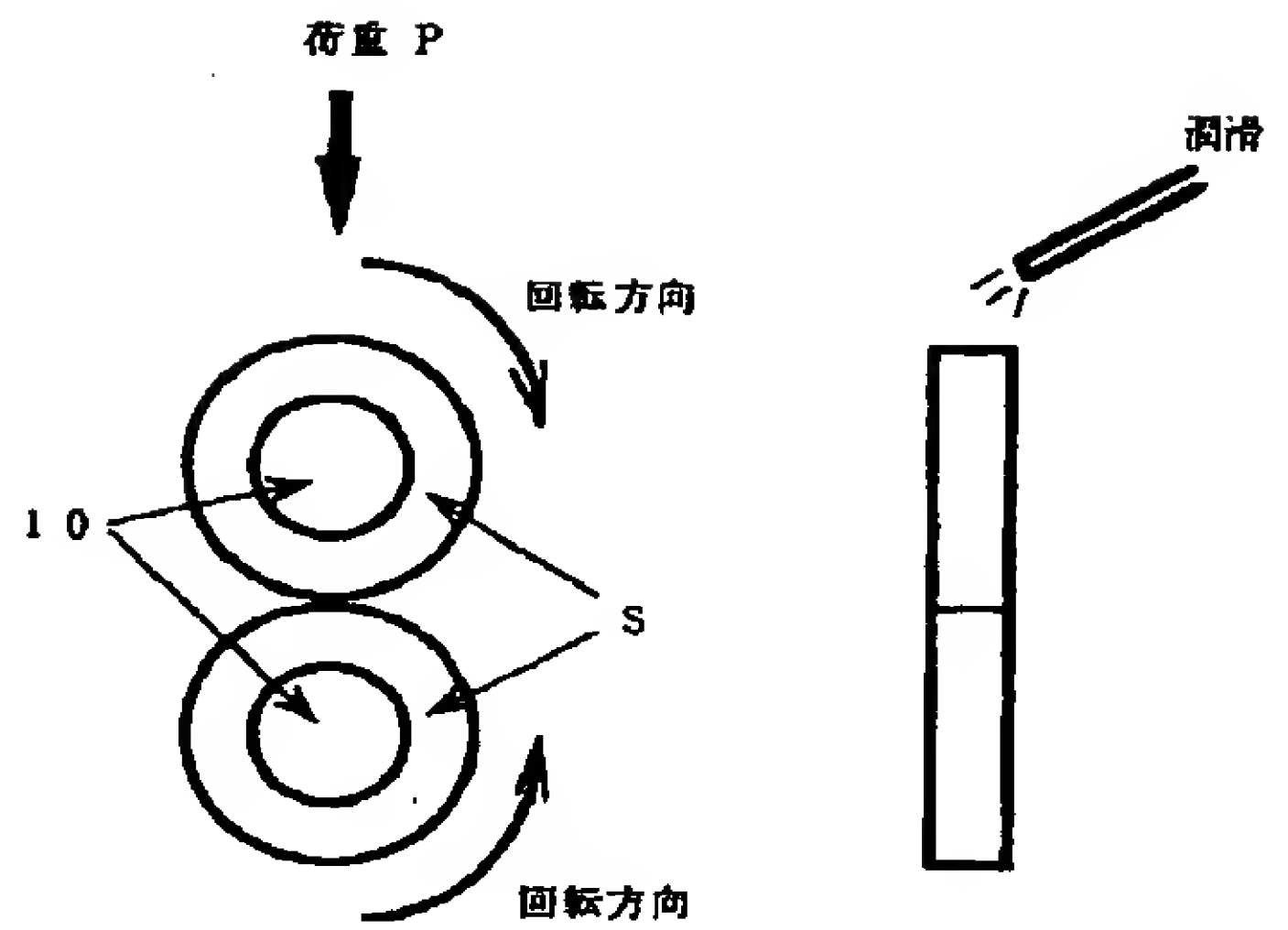
【図4】



【図5】

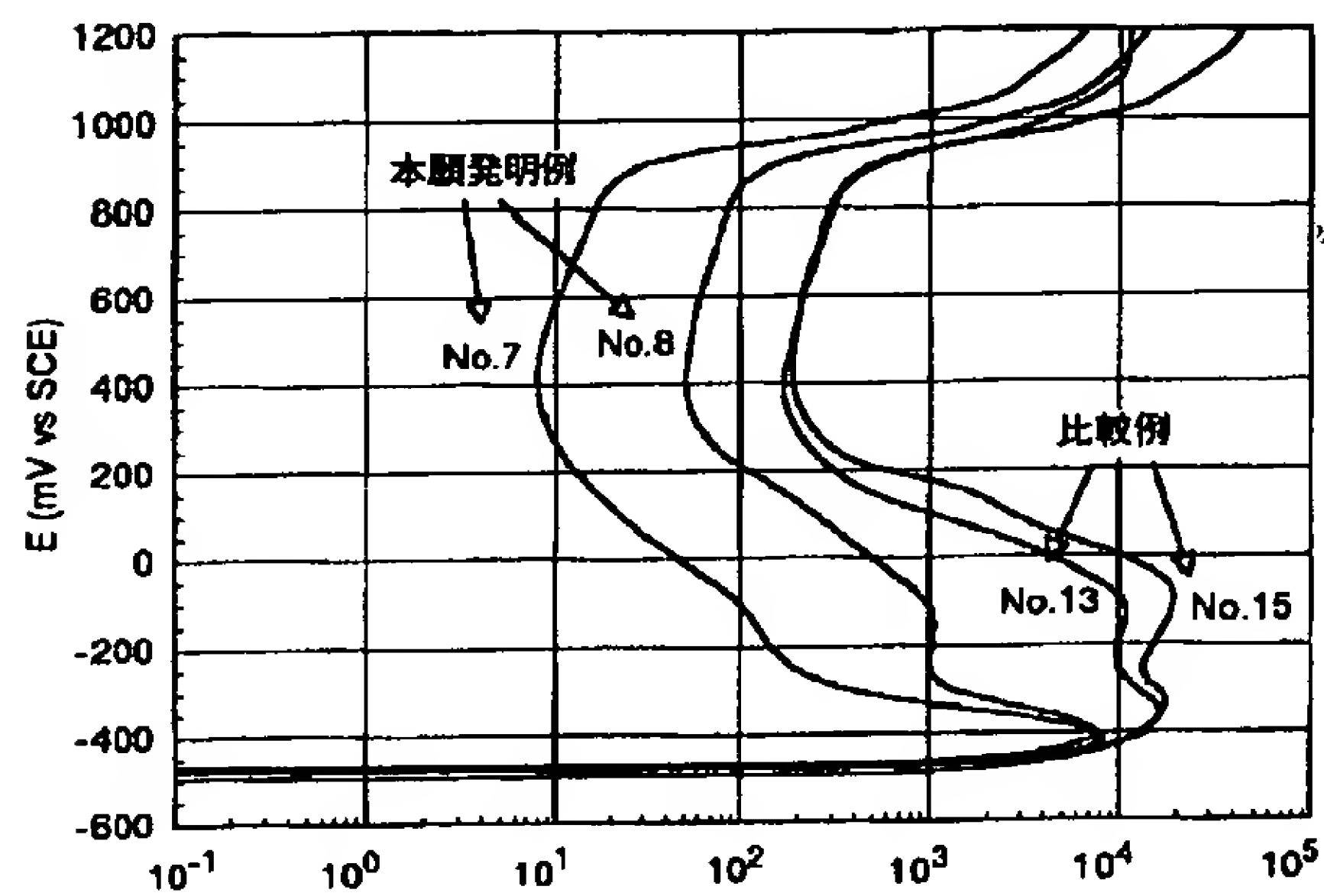


【図7】

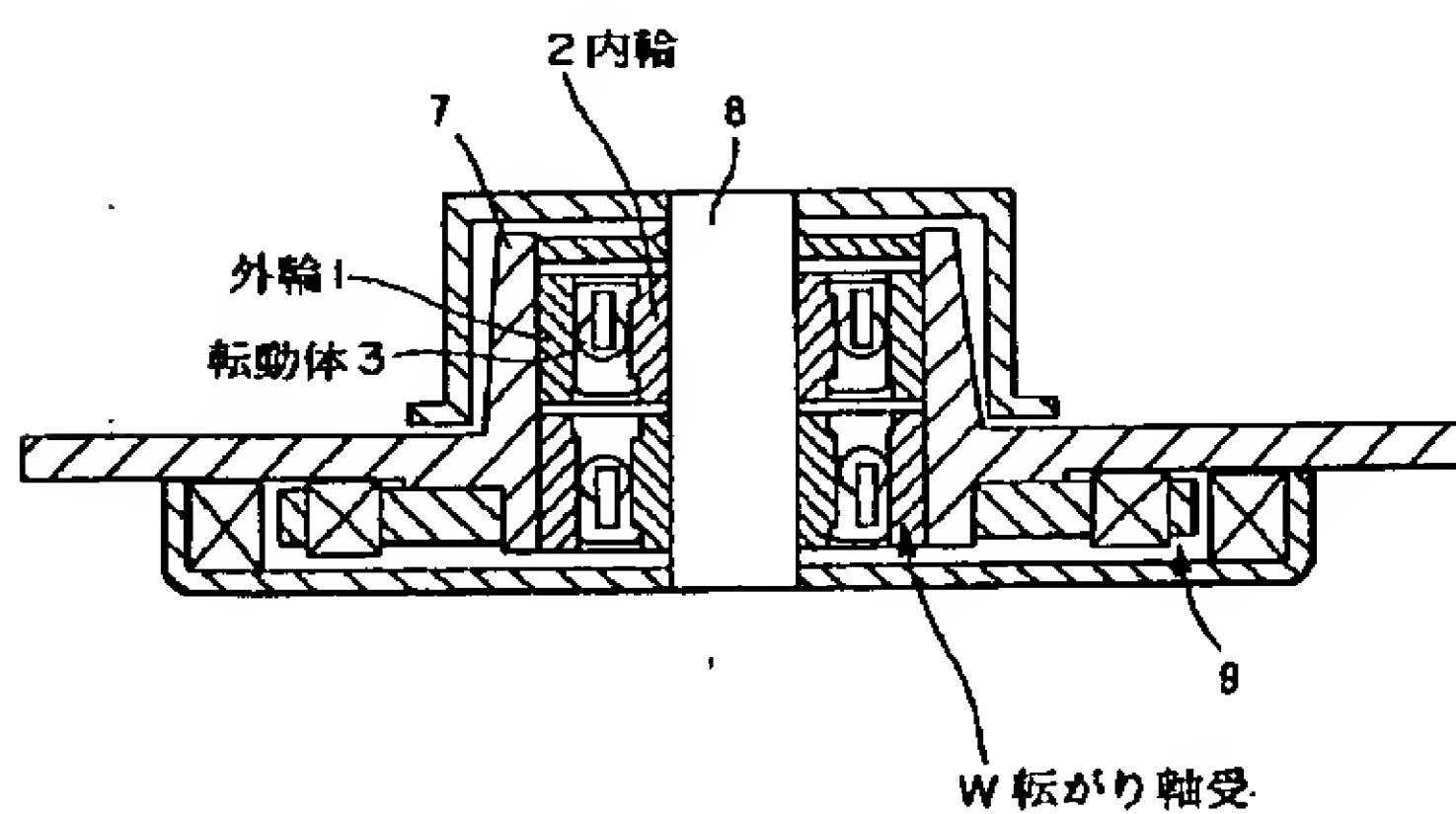


【図15】

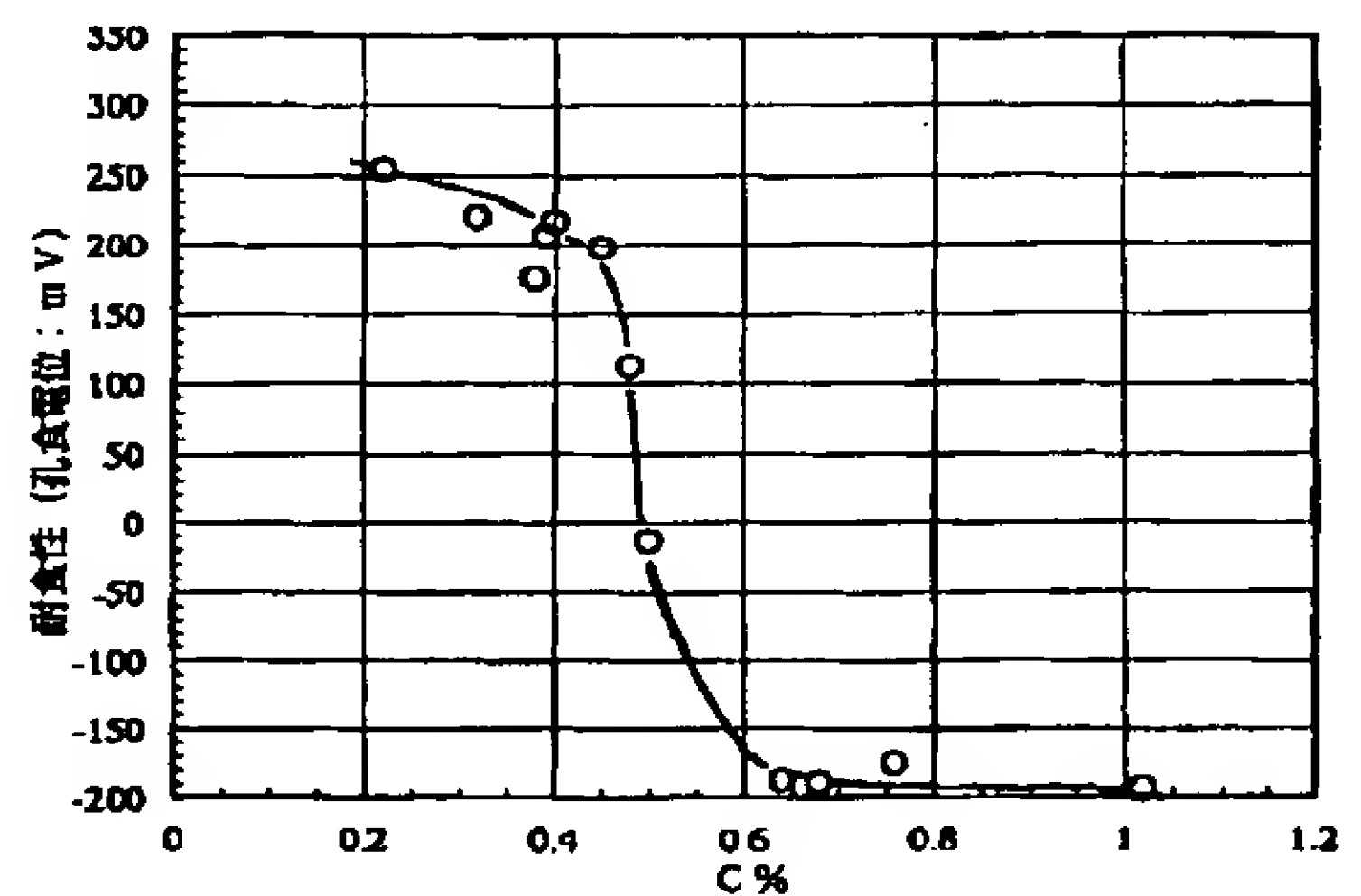
【図6】



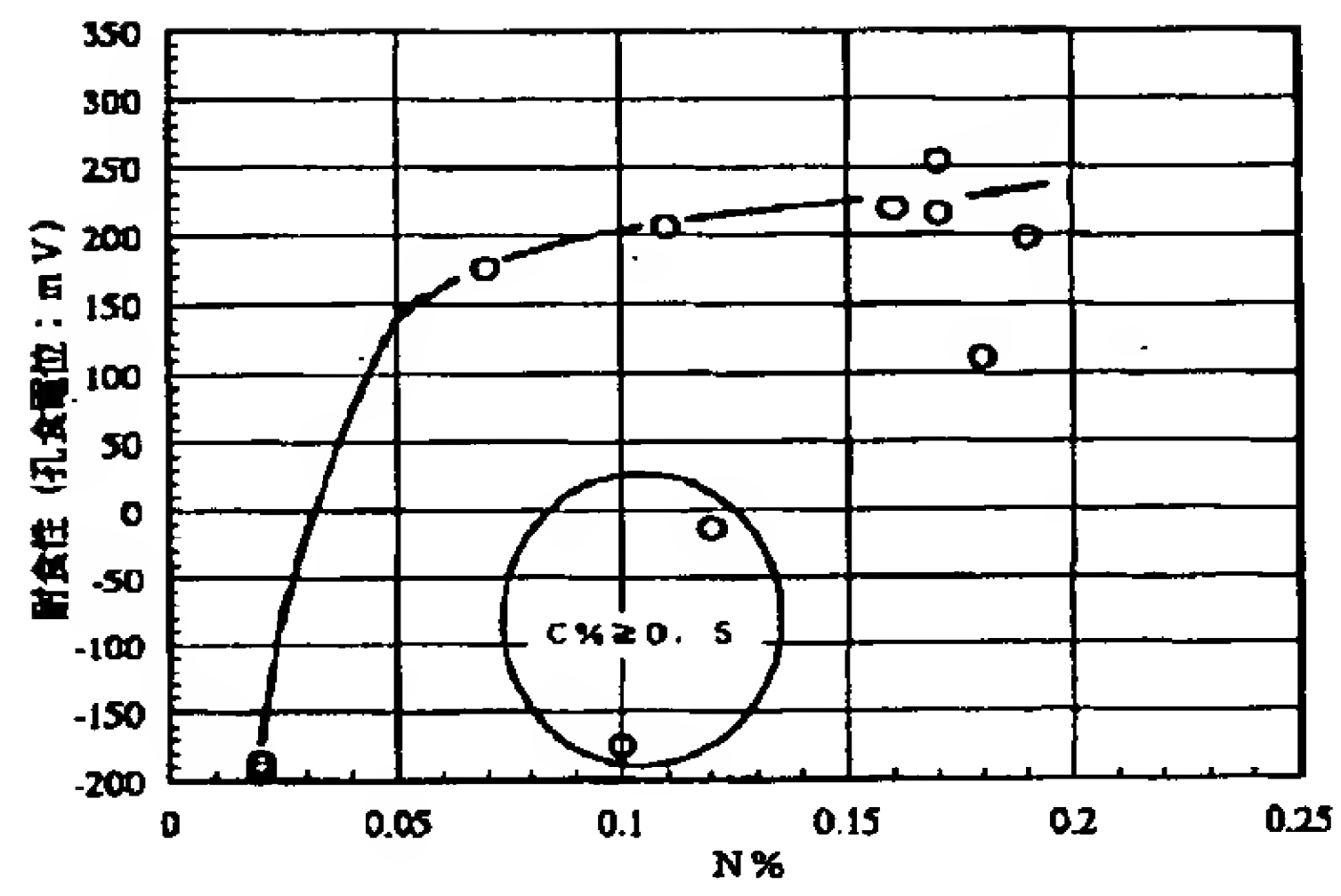
【図8】



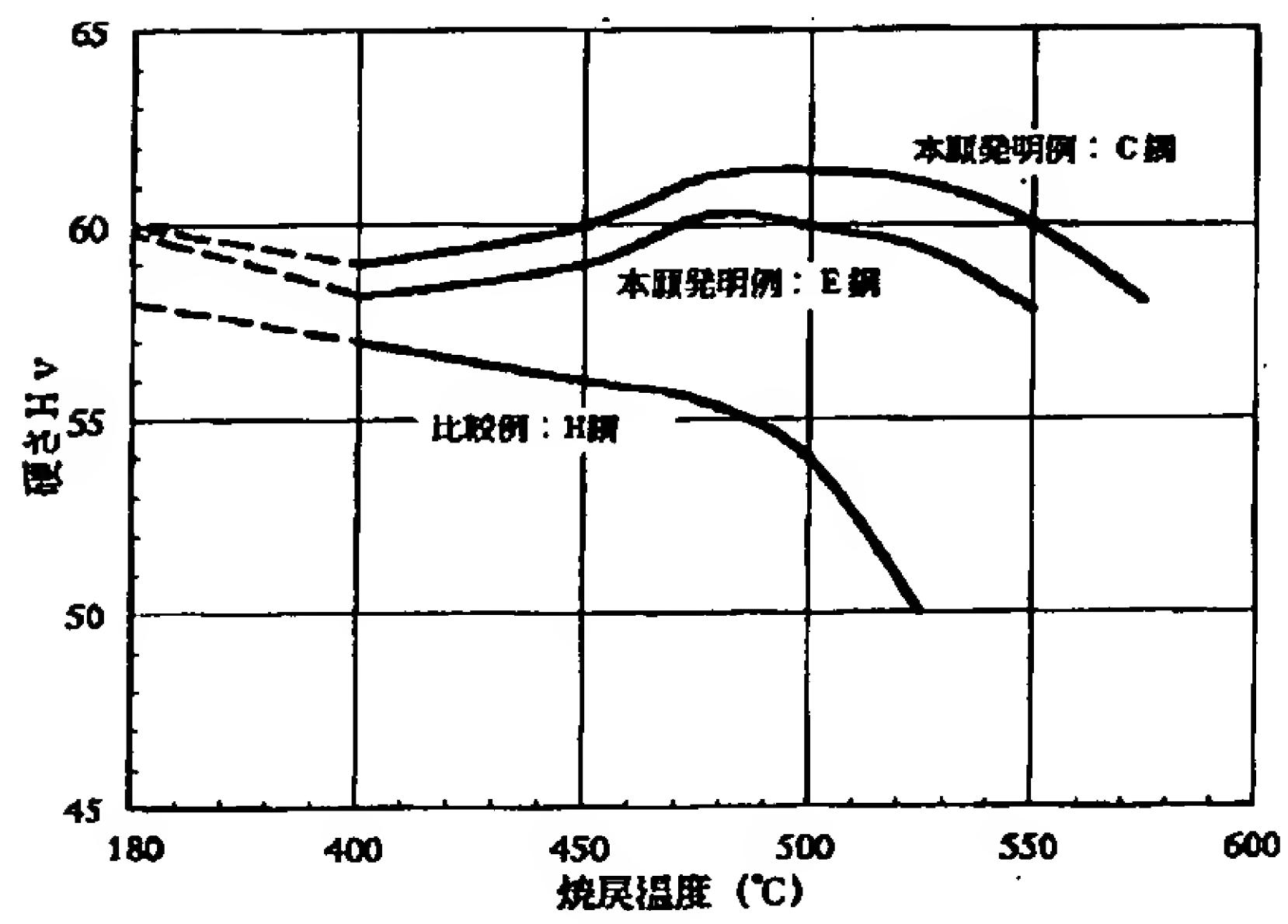
【図9】



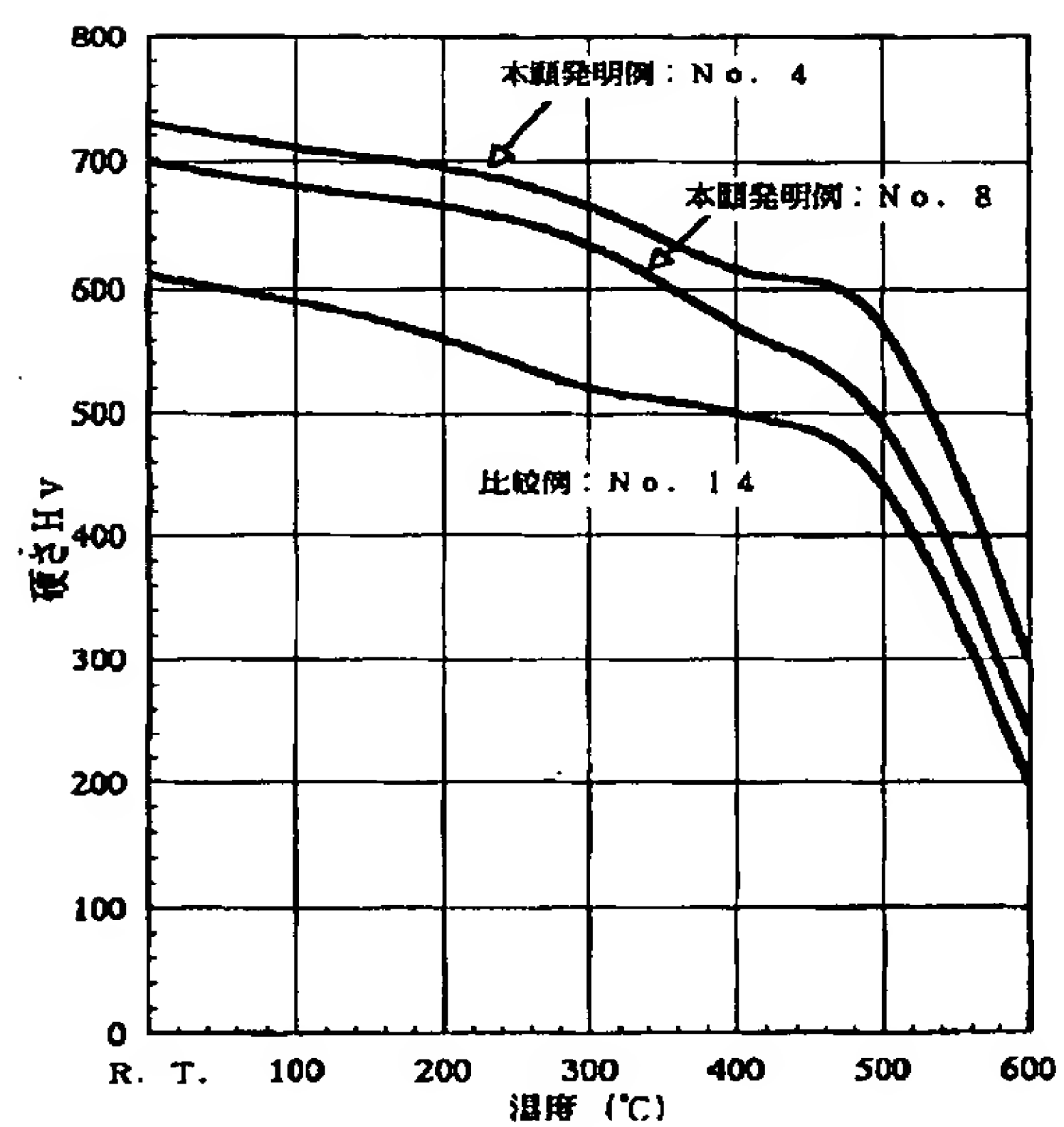
【図10】



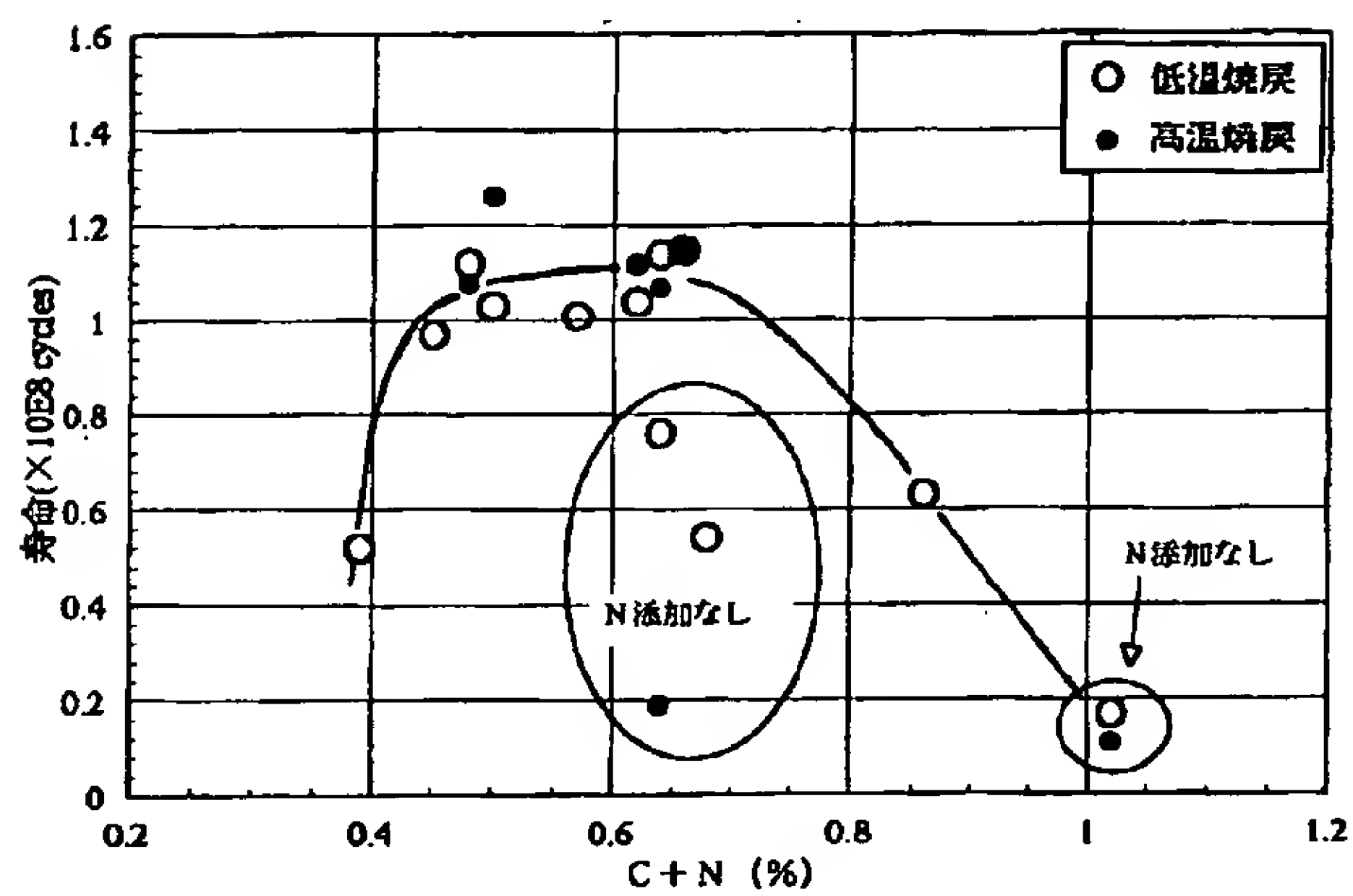
【図11】



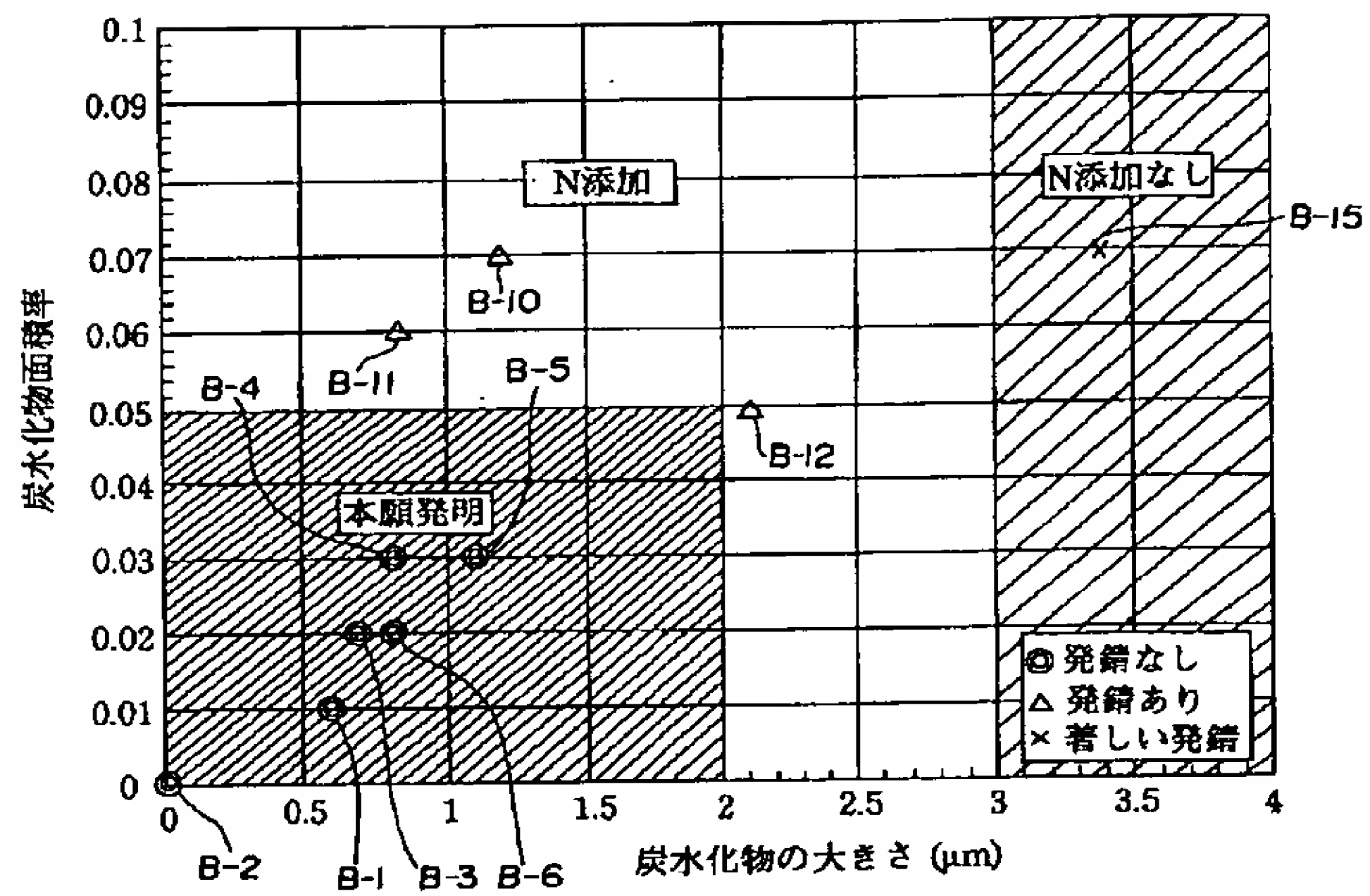
【図12】



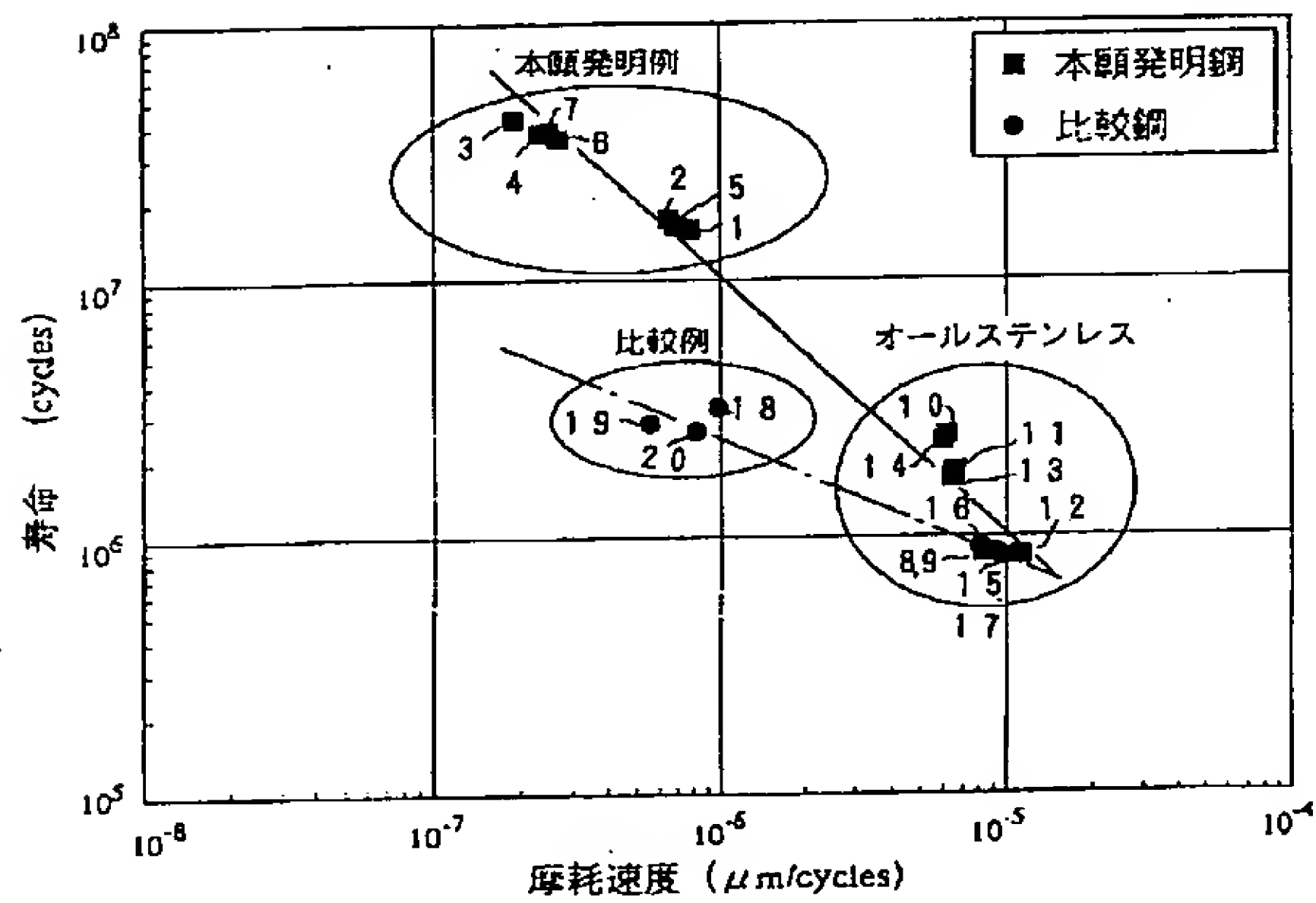
【図13】



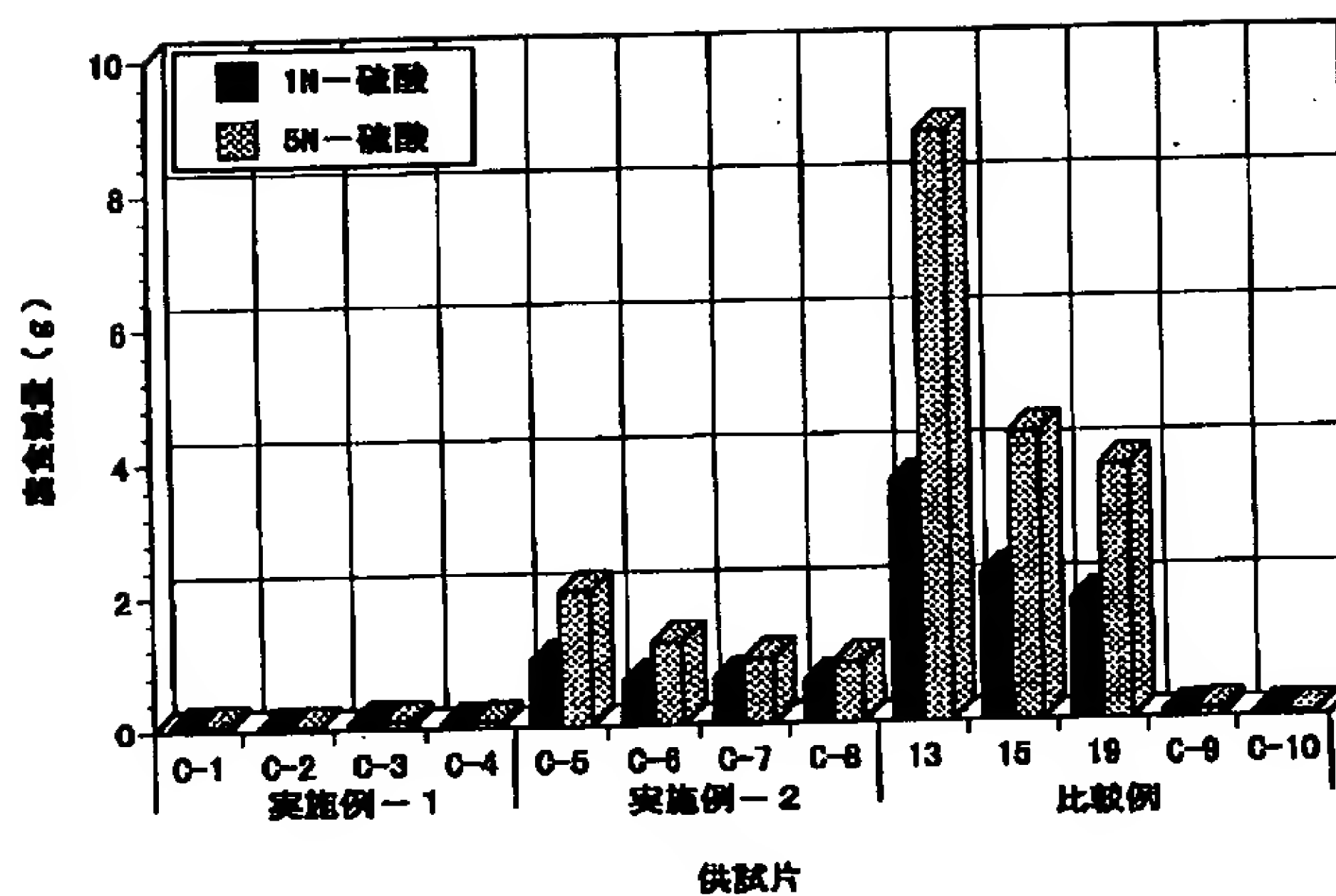
【図14】



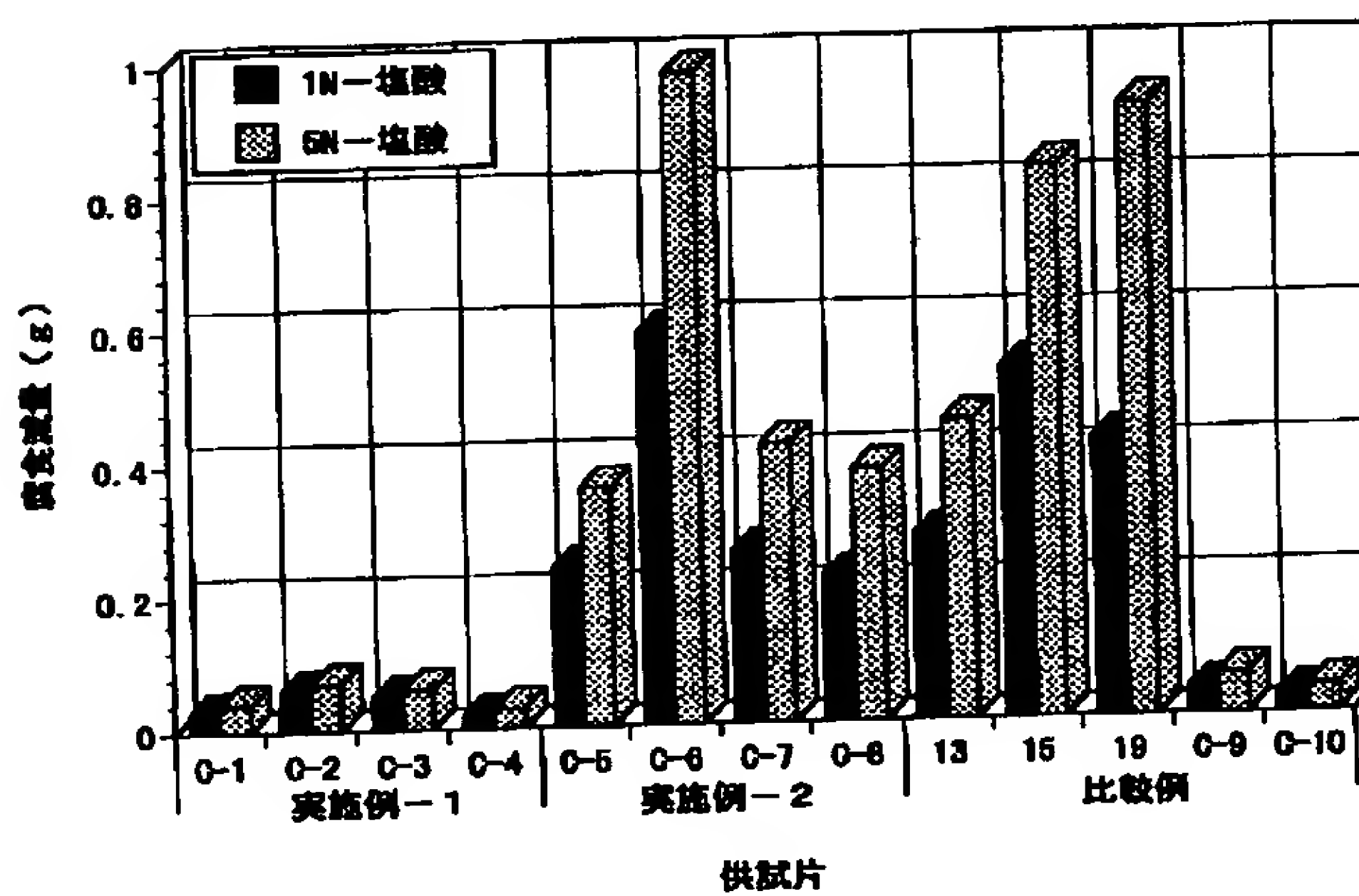
【図16】



【図17】



【図18】



(19)

JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09287053 A**

(43) Date of publication of application: **04.11.97**

(51) Int. Cl. **C22C 38/00**
C22C 38/18
F16C 33/30
F16C 33/62

(21) Application number: **08269781**

(22) Date of filing: **11.10.96**

(30) Priority: **19.10.95 JP 07271111**
23.02.96 JP 08 36734

(71) Applicant: **NIPPON SEIKO KK**

(72) Inventor: **TANAKA SUSUMU**
YAMAMURA KENJI
OHORI MANABU

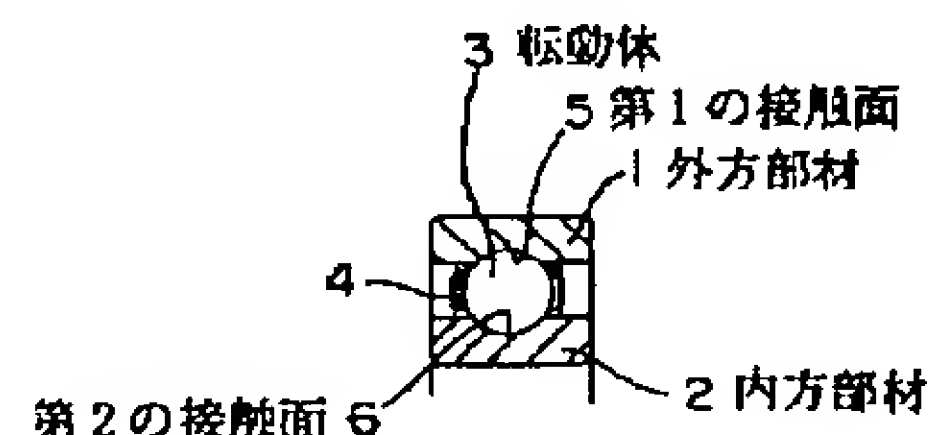
(54) ROLLING BEARING AND OTHER ROLLING DEVICES

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a rolling bearing and other rolling devices, excellent in fatigue life, wear resistance, corrosion resistance, acoustic characteristic, etc., by considering the relationship between carbon and nitrogen in the composition of a bearing material and other composition relations.

SOLUTION: At least one among an outer member (outer ring) 1, an inner member (inner ring) 2, and a rolling element 3 is composed of stainless steel which has a composition consisting of, by weight, <0.6% C, 10.0-22.0% Cr, 0.1-1.5% Mn, 0.1-2.0% Si, 0.05-<0.2% N, and the balance Fe with inevitable components and further satisfying $0.04\text{Cr}\% - 0.83\text{N}\% - 0.392\text{C}\% \geq -0.05\text{Cr}\% + 1.41$ and $\text{C}\% + \text{N}\% \leq 0.45\%$.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-287053

(43) 公開日 平成9年(1997)11月4日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 2 C 38/00 38/18	3 0 1		C 2 2 C 38/00 38/18	3 0 1 H
F 1 6 C 33/30 33/62			F 1 6 C 33/30 33/62	

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 25 頁)

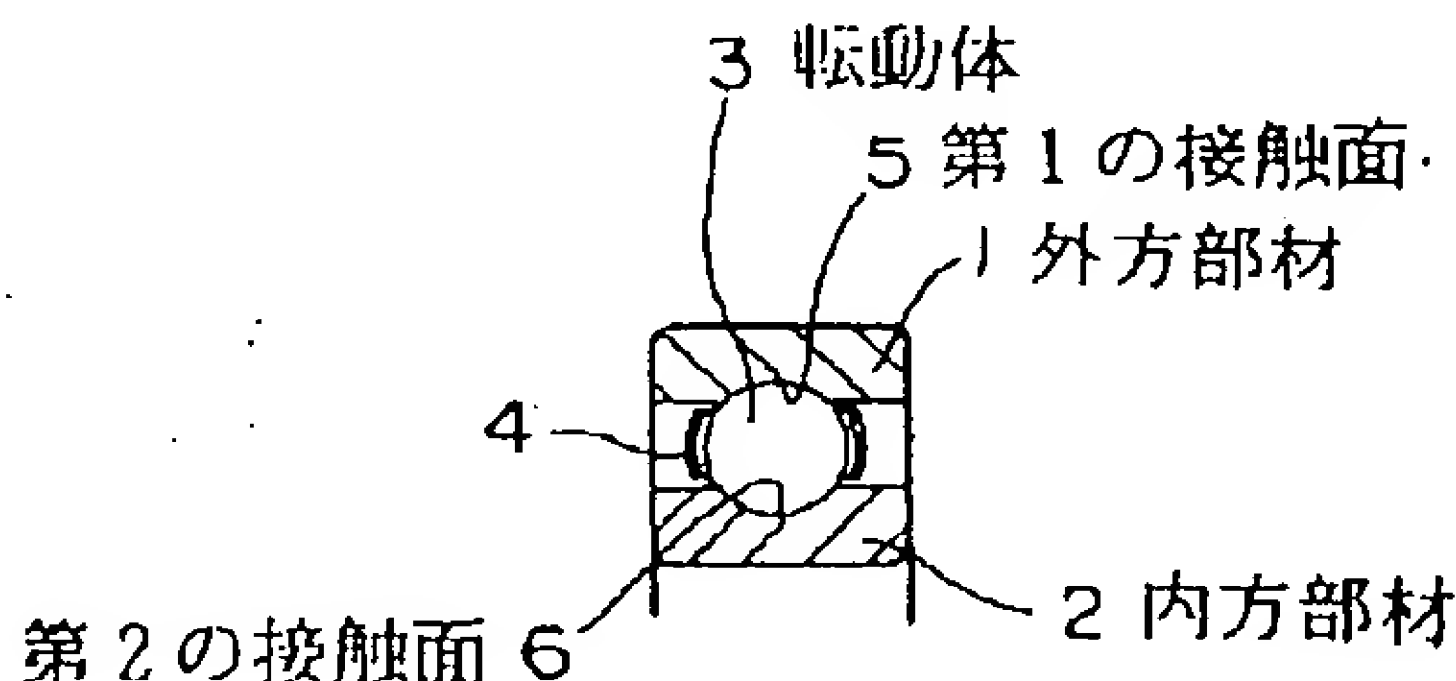
(21) 出願番号	特願平8-269781	(71) 出願人	000004204 日本精工株式会社 東京都品川区大崎1丁目6番3号
(22) 出願日	平成8年(1996)10月11日	(72) 発明者	田中 進 神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願平7-271111	(72) 発明者	山村 賢二 神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内
(32) 優先日	平7(1995)10月19日	(72) 発明者	大堀 學 神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内
(33) 優先権主張国	日本 (J P)	(74) 代理人	弁理士 森 哲也 (外2名)
(31) 優先権主張番号	特願平8-36734		
(32) 優先日	平8(1996)2月23日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

(54) 【発明の名称】 転がり軸受その他の転動装置

(57) 【要約】

【課題】 軸受材料組成中の炭素と窒素との関係その他の成分組成を考慮することにより、疲労寿命及び耐磨耗性、耐食性、音響特性等に優れた転がり軸受その他の転動装置を提供する。

【解決手段】 外方部材(外輪) 1, 内方部材(内輪) 2 及び転動体 3 の少なくとも一つが、重量%で C ; 0.6 %未満、Cr ; 10.0 %以上22.0 %以下、Mn ; 0.1 %以上1.5 %以下、Si ; 0.1 %以上2.0 %以下、N ; 0.05 %以上0.2 %未満および残部 Fe および不可避成分を含有し、さらに $0.04 \text{ Cr} \% - 0.83 \text{ N} \% - 0.39 \leq \text{C} \% \leq -0.05 \text{ Cr} \% + 1.41$ 且つ $\text{C} \% + \text{N} \% \geq 0.45 \%$ であるステンレス鋼からなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 外方部材と内方部材との間に転動体を配設し、転動体は外方部材の転動体への接触面である第1の接触面と内方部材の転動体への接触面である第2の接触面とに対して転動する転動装置において、前記外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、重量%でC; 0.6%未満、Cr; 10.0%以上22.0%以下、Mn; 0.1%以上1.5%以下、Si; 0.1%以上2.0%以下、N; 0.05%以上0.2%未満および残部Feおよび不可避成分を含有し、さらに $0.04\text{Cr}\% - 0.83\text{N}\% - 0.39 \leq \text{C}\% \leq -0.05\text{Cr}\% + 1.41$ 且つ $\text{C}\% + \text{N}\% \geq 0.45\%$ であるステンレス鋼からなる転がり軸受その他の転動装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、精密機器、食品機械、半導体関連機器等に使用される転がり軸受やリニアガイド、ボールねじ等（以下、転動装置と総称する）の改良に関し、特に、その構成部品の材料組成を改善して転動装置の高機能化を図るものである。

【0002】

【従来の技術】精密機器、食品機械、半導体関連機器等においては、従来から、転がり軸受やリニアガイド（直動案内装置）やボールねじ等の各種の転動装置が使用されている。これらの転動装置は、その構成部品として外方部材と内方部材とその間を転動する転動体を備えており、転動体は外方部材の転動体への接触面である第1の接触面と内方部材の転動体への接触面である第2の接触面とに対して転動するように構成されている。より具体的に説明すると、ここでいう転動装置の外方部材とは、転がり軸受にあっては外輪、リニアガイドにあってはスライダ又は案内レール、ボールねじにあってはナットを指す。また、転動装置の内方部材とは、転がり軸受にあっては内輪、リニアガイドにあっては案内レール又はスライダ、ボールねじにあってはねじ軸を指す。

【0003】したがって、外方部材の転動体への接触面である第1の接触面及び内方部材の転動体への接触面である第2の接触面については、転がり軸受の場合は、外輪の軌道面が第1の接触面、内輪の軌道面が第2の接触面である。また、リニアガイドの場合は、スライダ（又は案内レール）の軌道溝が第1の接触面、案内レール（又はスライダ）の軌道溝が第2の接触面である。また、ボールねじの場合は、ナットのねじ溝が第1の接触面、ねじ軸のねじ溝が第2の接触面である。

【0004】一般に、転がり軸受その他の転動装置の転動体である玉ないしころ、及び外方部材や内方部材である内輪、外輪、スライダ、案内レール、ナット、ねじ軸等の材料として、軸受鋼であればS U J 2が、肌焼鋼であればS C R 4 2 0相当の鋼材等が使用されている。転がり軸受その他の転動装置は高面圧下で繰り返しせん断

応力を受けて用いられるため、そのせん断応力に耐えて転がり疲労寿命を確保するべく、軸受鋼は焼入・焼戻し、肌焼鋼は浸炭又は浸炭窒化処理後に焼入・焼戻しが施されてH R C 5 8 ~ 6 4の硬度とされている。

【0005】しかし、転がり軸受その他の転動装置は使用環境が多種多用であり、S U J 2やS C R 4 2 0相当の鋼材を用いたものは、それらが水や海水の混入や湿潤その他の腐食環境下において使用された場合には早期に発錆して使用不能となる。

【0006】そこで、特に発錆を避ける必要がある精密機器、食品機械等に使用される転がり軸受その他の転動装置にあっては、耐食性に優れると共に軸受に必要な硬度H R C 5 8以上を有する高Cr系ステンレス軸受鋼としてマルテンサイト系のS U S 4 4 0 C等が従来より使用されている。

【0007】もっとも、このような水や海水の混入や湿潤等の腐食環境では、P Hが5 ~ 9程度の比較的中性に近い水分が転動装置に付着するのが一般的であるが、なかには特別なケースとして弱酸溶液やハロゲン化物水溶液等の特殊な溶液あるいは蒸気中で転動装置が使用されることもある。特に、硫酸、塩酸等の還元性の酸の場合には、それらの酸が数%水中に含有されただけでもステンレス鋼の不動態皮膜（酸化皮膜）を侵して著しく腐食を進行させ、腐食寿命に至らしめることがあり、そのような場合には転動装置に硬質Crめっき処理やレイドント処理、フッ化レイドント処理等の表面処理を施して使用される。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、高Crステンレス鋼においては、C、Crの含有量が多いとき、例えばCを0.6重量%を超えて含有すると多量のクロムとあいまって $10\mu\text{m}$ を超える粗大な共晶炭化物が多数形成されるようになり、これらが疲労寿命、靱性、耐食性、加工性等を低下させるだけでなく、鍛造性、切削性等の加工性をも劣化させるという悪影響を及ぼすという問題点がある。

【0009】また、粗大な共晶炭化物の存在は、転がり軸受その他の転動装置の音響特性にも悪影響を及ぼすという問題点がある。音響特性とは転がり軸受その他の転動装置が作動中に発生する振動により生じる騒音の少なさを指すもので、工作機械や建設機械等ではそれほど問題にならないのであるが、例えばH D DやV T R等のような振動を極度に嫌う精密機器に使用される比較的小型のステンレス製玉軸受等においては、音響特性が大きな問題となってくる。すなわち、転がり軸受その他の転動装置において発生する振動は、外方部材、内方部材、転動体の形状的な精度に大きく依存する。そのため、粗大な共晶炭化物が存在するような材料を使用した場合には、その粗大な共晶炭化物が転動装置の部品を仕上げ加工する際に目標となる精度達成に対する阻害要因とな

り、さらに転動装置使用中においても基地と共晶炭化物との間に摩耗差が生じて粗さ等の精度低下要因となり、その結果騒音が増大するとされている。なお、こうした音響特性の低下は、上述のように粗大な共晶炭化物に起因する場合の他に、残留オーステナイト量に起因する場合もある。

【0010】このように粗大共晶炭化物は、軸受その他の転動装置の音響特性を低下させるだけではなく、応力集中源となって疲労寿命をも低下させ、さらには靱性、耐食性等の劣化も招く。したがって、転動装置の構成部品の材料中のかような粗大共晶炭化物の存在は好ましくない。

【0011】又、転がり軸受その他の転動装置が潤滑不良下、例えば極端な場合、水中等で使用された場合には耐蝕性は当然必要であるが、寿命については耐磨耗性も特に重要となる。

【0012】一般のSUS440C等の材料から外方部材、内方部材及び転動体を構成した場合、これを水中のような苛酷な条件下で使用すると、外方部材の転動体への接触面である第1の接触面及び内方部材の転動体への接触面である第2の接触面と転動体との間に油膜が生じないため、転動体は外方部材、内方部材と直接接触する。そのため、転動装置の損傷形態は剥離寿命ではなく摩耗あるいは腐食による寿命（精度低下等）を示すようになる。

【0013】この著しい摩耗は、例えば転がり軸受に例をとると、転動体に窒化ケイ素等のセラミックスを用いることによって大きく低減できる。その場合、転動体のみにセラミックスを用いことにより、コストの上昇を最小限に抑えつつ機能を著しく向上させることが可能である。一般のSUS440C等の材料を軌道輪に用い、転動体にセラミックスを用いた場合、軌道輪及び転動体の全てをSUS440C材で構成したときよりも摩耗量は激減して長寿命化し、その寿命形態は摩耗、腐食を伴った剥離損傷を示す。しかし、セラミックスはほとんど弾性変形しないために、それと接触する軌道輪は転動体にステンレス鋼を用いた場合よりも高面圧を受け、内在する粗大な共晶炭化物が起点となって剥離損傷する。それゆえ、寿命に対する改善効果が不十分であった。また、SUS440C材では耐食性が不十分であり、長期にわたって水中等の腐食環境下に曝された場合には共晶炭化物周辺のCr欠乏層から腐食して発錆し、粗さ等の精度が低下して寿命が劣化し、その腐食が著しい場合には使用不能となるという問題点がある。

【0014】また一方で、HDDやVTR等の小型機器に組み込まれた玉軸受等の場合には、機器自体の可搬化により衝撃荷重が加えられる機会が増えている。この場合の玉軸受は小型のため比較的小さな衝撃荷重でも軌道輪が永久変形し、音響劣化や回転トルクむら等が生成して機器の性能劣化の原因となるという問題点がある。こ

のような永久変形は、軌道輪を構成する鋼中に含まれる残留オーステナイトの降伏応力が低いために発生する。

【0015】その残留オーステナイト量は、SUS2により軌道輪を構成した場合には240℃前後で焼戻しを行うことによりほぼ0%にすることができ、耐衝撃性を大きく向上させることが可能である。しかしながら、SUS2は先にも述べたように十分な耐食性を備えていないという問題がある。

【0016】一方、耐食性を有するSUS440C等の一般のステンレス鋼により軌道輪を構成した場合には、焼入後、サブゼロ処理しても8~12重量%程度の残留オーステナイトが残り、さらにこれらの残留オーステナイトは軸受鋼の場合よりも安定化して、400~600℃で焼戻しを行わなければほとんど分解しない。しかも、SUS440Cを400~600℃で焼戻しすることで残留オーステナイトは分解できても、硬度がHRC55~57あるいはそれ以下まで軟化して転がり疲労寿命及び耐磨耗性等が低下し、結局、当該軌道輪を含んで構成される転がり軸受の寿命が短くなってしまうという問題点がある。

【0017】さらに、その焼戻し過程においては基地中のCrが炭化物として析出したりして、焼戻し温度が高くなるにつれて軟化するだけでなく、耐食性の著しい低下をきたすという問題点もある。

【0018】特開昭61-163244号には、C、Crの含有量を低減することにより共晶炭化物の形成を抑制して、音響特性、疲労強度等を著しく改善したステンレス鋼製の転がり軸受が開示されている。しかし、寸法安定性や残留オーステナイト量に起因する耐衝撃性に関する事柄、高温焼戻し時の耐磨耗性、耐食性等については明示されていない。

【0019】以上指摘した転がり軸受における種々の問題点は、リニアガイドやボールねじなどのその他の転動装置の場合にも同様に生じうるものである。そこで、本発明は、上記従来の転がり軸受その他の転動装置における各種の問題点に着目してなされたもので、優れた耐食性を有する材料組成における炭素と窒素との関係等を考慮することにより、疲労寿命及び耐磨耗性、耐食性、音響特性等に優れた転がり軸受その他の転動装置を提供することを目的とする。

【0020】また、本発明の他の目的は、上記組成に特定元素を添加することにより、耐孔食性を改善し且つ焼戻し過程で2次硬化を生じて強度を一層高めた転がり軸受その他の転動装置を提供することにある。

【0021】また、本発明の他の目的は、材料中の共晶炭化物、窒化物（炭窒化物）等の大きさを規制することにより、粗大共晶物に起因する転がり軸受その他の転動装置の音響特性や疲労寿命、靱性等の低下を排除し、もって優れた疲労寿命及び耐磨耗性、耐食性、音響特性、靱性等に優れた高機能の転がり軸受その他の転動装置を

提供することにある。

【0022】また、本発明にあっては、水中等の潤滑不良環境下での摩耗や腐食による寿命低下という点に留意して、特に耐食性、疲労寿命に優れ、且つ耐摩耗性が良好な転がり軸受その他の転動装置を提供することを本願の目的とする。

【0023】さらに、水中等の潤滑不良環境よりもっと厳しい還元性の酸やハロゲン化物等の特殊な腐食環境で使用される転動装置の場合に、従来採用されているレイドント処理等の表面処理はコストが非常に大きくなってしまふばかりでなく、転動体の運動で当該表面処理が脱落しやすく耐性も不十分であるという問題点がある。かといって、耐酸性の良好なSUS304、SUS316に代表されるオーステナイト系のステンレス鋼の採用については、硬さが不足して高面圧を受けるような転動装置には適用できない。本発明はこうした特殊な腐食環境においても従来のものより好適に使用できる転動装置を提供することも目的としている。

【0024】

【課題を解決するための手段】本願発明者らは、耐食性に悪影響を及ぼす鋼中の炭素濃度を低下させ、その代わりに炭素と同様の固溶強化作用がある窒素を添加して、窒素・炭素濃度が鋼の耐食性や高温焼戻し硬さ等に及ぼす影響について研究を行うとともに、その他の合金成分等の影響について研究を行った。その結果、炭素濃度を低下させて代わりに窒素を添加すれば、①粗大共晶炭化物の形成を抑制できて従来のステンレス鋼に比べて著しく耐食性が向上すること、②高温焼戻しした際に微細な窒化物（炭窒化物を含む）等が析出して2次硬化し、従来のステンレス鋼に見られるような軟化が抑制できて耐摩耗性、耐食性が向上すること、さらに③炭素含有量を0.5%未満とし、 $0.04\text{Cr}\% - 0.83\text{N}\% - 0.39 \leq \text{C}\% \leq -0.05\text{Cr}\% + 1.41$ となるように成分設計することにより、靱性、耐食性、寿命等に有害な δ フェライト及び粗大な共晶炭化物の形成を抑制できることなどが判明し、本願発明をなすに至った。

【0025】上記の目的を達成する本発明に係る転がり軸受その他の転動装置は、外方部材と内方部材との間に転動体を配設し、転動体は外方部材の転動体への接触面である第1の接触面と内方部材の転動体への接触面である第2の接触面とに対して転動する転動装置において、前記外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、重量%でC；0.6%未満、Cr；10.0%以上22.0%以下、Mn；0.1%以上1.5%以下、Si；0.1%以上2.0%以下、N；0.05%以上0.2%未満および残部Feおよび不可避成分を含有し、さらに $0.04\text{Cr}\% - 0.83\text{N}\% - 0.39 \leq \text{C}\% \leq -0.05\text{Cr}\% + 1.41$ 且つ $\text{C}\% + \text{N}\% \geq 0.45\%$ であるステンレス鋼からなる転がり軸受その他の転動装置（A）である。

【0026】ここで、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置（A）の外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つに用いられるステンレス鋼の合金組成は、上記合金組成に加えて、更に、選択的にMo；3.0重量%以下、V；2.0重量%以下を含有するものとすることができる。

【0027】また、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置（A）の外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つの構成材料が上述のステンレス鋼の合金組成を有すると共に、含有する共晶炭化物あるいは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下、焼入（サブゼロ処理）・焼戻し後の硬さがHRC58以上であって、特に音響特性に優れ且つ疲労寿命及び耐食性等を兼ね備えているものとすることができる。

【0028】さらに、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置（A）は、外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つの構成材料が上述のステンレス鋼に選択的にMo；3.0重量%以下、V；2.0重量%以下を含有する合金組成を有すると共に、含有する共晶炭化物あるいは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下、焼入（サブゼロ処理）後に 400°C 以上 600°C 以下の温度で焼戻しされ、且つ焼戻し後の硬さがHRC58以上であり、特に音響特性に優れ且つ疲労寿命及び耐摩耗性等を兼ね備えているものとすることができる。

【0029】またさらに本発明に係る転がり軸受その他の転動装置（A）は、外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つの構成材料が以上のいずれかとされ、かつ残留オーステナイト（ γ_R ）量を6体積%以下とし、特に音響特性、耐衝撃性等を兼ね備えたものとすることができる。

【0030】又、本願発明者らはこれらの鋼の熱処理特性を詳細に調査して、耐食性と熱処理特性あるいはミクロ組織等の相関について検討した。その結果、基地中の未固溶炭化物の大きさと量とを抑制することによって、優れた耐食性が得られることがわかった。

【0031】そこで、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置は、外方部材、内方部材及び転動体からなる転がり軸受において、当該外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、重量%でC；0.5%未満、Cr；10.0%以上14.0%以下、更に好ましくはMn；1.0%以下、Si；2.0%以下、Mo；3.0%以下、V；2.0%以下、N；0.05%以上0.14%以下を含有し、さらに $(\text{C} + \text{N})\% \leq 0.45\%$ となるように含有せしめたステンレス鋼からなる転がり軸受その他の転動装置（B）とすることができる。

【0032】また、この転がり軸受その他の転動装置（B）は、前記ステンレス鋼中に、焼入（サブゼロ）・焼戻後に内在する共晶炭化物及びその他未固溶炭化物がないか、もしくはその大きさが $2\mu\text{m}$ 以下、面積率で5

%以下であり、特に音響特性、耐食性に優れることを特徴とするものとすることができる。

【0033】又、本願発明者らは、転動体にセラミックス、軌道輪等の外方部材、内方部材にステンレス鋼を用いたハイブリッド転動装置の苛酷潤滑・腐食環境下（水中）での寿命についても検討した。

【0034】その結果、転動体にセラミックス、軌道輪等の外方部材、内方部材にステンレス鋼を用いて転動装置を構成すると、オールステンレスで転動装置を構成したときよりも著しく摩耗量は減少して長寿命となり、更に、その寿命は共晶炭化物の大きさ、耐摩耗性等に強く依存することがわかった。

【0035】そこで、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置は、外方部材、内方部材の一方または両方が、重量%でC；0.5%未満、Cr；10.0%以上22.0%以下、Mn；0.1%以上1.5%以下、Si；0.1%以上2.0%以下、Mo；3.0%以下、V；2.0%以下、S；0.030%以下、P；0.030%以下、O；100ppm以下、N；0.05%以上0.2%未満を含有し、さらに $0.04\text{Cr}\% - 0.83\text{N}\% - 0.39 \leq \text{C}\% \leq -0.05\text{Cr}\% + 1.41$ で、且つ $\text{C}\% + \text{N}\% \geq 0.45\%$ となるように含有せしめたステンレス鋼からなり、転動体が窒化ケイ素、ジルコニア、炭化ケイ素等のセラミックス材料からなることを特徴とする転がり軸受その他の転動装置（C）とすることができる。

【0036】また、この転がり軸受その他の転動装置（C）は、外方部材、内方部材を構成するステンレス鋼が含有する共晶炭化物もしくは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下、焼入（サブゼロ）・焼戻後の硬さがHRC58以上であり、転動体が窒化ケイ素等のセラミックス材料からなるものとすることができる。

【0037】また、この転がり軸受その他の転動装置（C）の焼戻温度は、 400°C 以上 600°C 以下とすることができる。又、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置は、更に、外方部材、内方部材及び転動体からなる転がり軸受その他の転動装置において、当該外方部材、内方部材の一方又は両方が、重量%でC；0.5%未満、Cr；10.0%以上14.0%以下、Mn；1.0%以下、Si；2.0%以下、Mo；3.0%以下、V；2.0%以下、S；0.030%以下、N；0.05%以上0.14%以下を含有し、さらに $(\text{C} + \text{N})\%$ を $0.45\% \leq (\text{C} + \text{N})\% \leq 0.65$ となるように含有せしめたステンレス鋼からなり、転動体が窒化ケイ素等のセラミックス材料からなることを特徴とする転がり軸受その他の転動装置（D）とすることができる。

【0038】この転がり軸受その他の転動装置（D）は、外方部材、内方部材を構成する前記ステンレス鋼が、焼入（サブゼロ）・焼戻後に内在する共晶炭化物及

びその他未固溶炭化物がないか、もしくはその大きさが $2\mu\text{m}$ 以下、面積率で5%以下であるものとすることができる。

【0039】更に、本願発明者らは、転動寿命、音響特性、一般的な環境下での耐食性のみならず、硫酸、塩酸等の還元性酸及びハロゲン化物溶液中等の特殊な環境における耐食性をも向上させるべく検討を重ねた。その結果、合金成分中に適量のNi及びCuを添加することによって、硫酸、塩酸等の還元性酸に対する耐食性が著しく向上し、且つ粗大な共晶炭化物もなく、良好な転動疲労特性および音響特性が得られ、従来よりも好適に使用できる特殊環境用の転がり軸受その他の転動装置を提供することがわかった。

【0040】そこで、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置は、外方部材、内方部材及び転動体からなる転がり軸受その他の転動装置において、当該外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、重量%でC；0.5%未満、Cr；10.0%以上16.0%以下、Mn；0.1%以上0.8%以下、Si；0.1%以上2.0%以下、N；0.05%以上0.2%未満、Mo；3.0%以下、V；2.0%以下、Ni；0.5%以上3.5%以下、Cu；0.5%以上3.0%以下および残部Fe及び不可避成分を含有し、さらに $0.04\text{Cr}\% - 0.83\text{N}\% - 0.39 \leq \text{C}\% \leq -0.05\text{Cr}\% + 1.41$ で、且つ $\text{C}\% + \text{N}\% \geq 0.45\%$ 、 $\text{Ni}\% + 2.4\text{Mn}\% + 0.3\text{Cu}\% \leq 5.0$ であるステンレス鋼からなることを特徴とする転がり軸受その他の転動装置（E）とすることができる。

【0041】また、外方部材、内方部材の一方または両方を前記（E）のものとし、転動体を窒化ケイ素、ジルコニア、炭化ケイ素等のセラミックスでなるものとすることもできる。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を説明する。まず、本発明の転がり軸受その他の転動装置の構造について、図面を参照して具体的に説明する。

【0043】図1は、本発明の転動装置の第1の実施形態である単列深溝玉軸受の部分断面図である。外方部材である外輪1と内方部材である内輪2との間に転動体である玉3が複数個配設され、玉3は保持器4で保持されている。この場合、外輪1の玉3への接触面である外輪の軌道面5が第1の接触面であり、内輪2の玉3への接触面である内輪の軌道面6が第2の接触面である。

【0044】なお、上記第1の実施形態では転がり軸受として開放形の単列深溝玉軸受を例示したが、本発明はシールド形、ゴムシール形等にも同様に適用でき、またその他のタイプの玉軸受にも適用可能であり、更には玉軸受とは限らずころ軸受に対しても適用可能である。

【0045】図2は、本発明の転動装置の第2の実施形態としての小型リニアガイドの一部を切り欠いて示す正

面図である。横断面略角型の内方部材である案内レール 11 の上に、外方部材である断面コ字形のスライダ 12 が跨架されており、両部材の間に転動体である多数個の玉 13 が配設されている。詳しくは、案内レール 11 の両側面に軸方向に長い軌道溝 15 が形成され、一方、スライダの構成部品のスライダの本体 12A には内側面に前記軌道溝 15 に対向する軌道溝 16 が形成され、この軌道溝 16 に平行する貫通孔からなる転動体戻り路 17 が袖部内に形成されている。そのスライダ本体 12A の両端にはスライダの構成部品のエンドキャップ 12B がねじ 18 でそれぞれ取り付けられてあり、これらのエンドキャップ 12B に前記軌道溝 16 と転動体戻り路 17 とを連通させる図示されない半ドーナツ状の湾曲路が形成され、軌道溝 16、転動体戻り路 17 及び湾曲路からなる転動体 13 の循環経路が構成される。その循環経路内に多数の転動体 13 が装填されて脱落しないように保持されている。この場合は、外方部材 12 の転動体 13 への接触面である第 1 の接触面はスライダ 12 の内側面の軌道溝 16 であり、内方部材 11 の転動体 13 への接触面である第 2 の接触面は案内レール 11 の外側面の軌道溝 15 である。

【0046】なお、リニアガイドとしては、図 2 のタイプのものに限らず、リニアガイドの一方の側部に第 1 の接触面であるスライダ 12 の内側面の軌道溝 16 及び第 2 の接触面である案内レール 11 の軌道溝 15 がいずれも 2 本以上あるものや、転動体があるものや、あるいは案内レールのほうが断面コ字型でその内面の凹部にスライダが転動体を介して移動自在に配設されたタイプのもの等にも同様に適用可能である。

【0047】図 3 は、本発明の転動装置の第 3 の実施形態としてのボールねじの要部の断面図で、螺旋状のねじ溝 21 を外周面に有する内方部材としてのねじ軸 22 に、外方部材であるナット 23 が多数の玉からなる転動体 24 を介して螺合されている。ナット 23 はねじ軸 22 のねじ溝 21 に対応するねじ溝 25 を内周面に有する。転動体 24 は前記両ねじ溝 21、25 によって形成された螺旋状空間をねじ軸 22 の回転方向に転動しつつナット 23 の胴部に設けられた例えば循環駒などのようなボール循環路（図示せず）に導かれてナット 23 の軸方向両端部間を循環移動する。そして、ねじ軸 22 が回転すると、転動体 24 の転動を介してナット 23 がねじ軸 22 に沿い直線方向に送られるように構成されている。

【0048】この場合は、外方部材 23 が転動体 24 に接触する第 1 の接触面はナット 23 のねじ溝 25 であり、内方部材 22 が転動体 24 とが接触する第 2 の接触面はねじ軸の外面のねじ溝 21 である。

【0049】なお、ボールねじとしては、図 3 のタイプのものに限らず、転動体の循環チューブを用いたチューブ循環式あるいはエンドキャップに循環経路を設けたエン

ドキャップ循環式のもの等、その他のタイプにも同様に適用可能である。

【0050】次に、本発明の転がり軸受その他の転動装置に用いられる合金成分の作用及び成分範囲限定理由等について説明する。

【C】C は、基地をマルテンサイト化することにより焼入れ・焼戻し後の硬さを向上せしめて強度を増加させる元素であるが、耐食性の面からは少ないほど良い。多量に加えると製鋼時に Cr が粗大な共晶炭化物を形成する。その結果、基地中の Cr 濃度が不足して十分な耐食性が得られなくなるだけでなく、転動寿命、靱性を低下させる。したがって、炭素含有量は 0.6 重量%未満とした。しかし、耐食性の観点からは 0.5 重量%未満、更に望ましくは 0.45 重量%未満とする。

【0051】【Cr】Cr は鋼に耐食性を与える最も必要な元素であるが、10.0 重量%に満たないと良好な耐食性が得られない。また、Cr 含有量が増加すると耐食性は向上するが、必要以上に添加されると δ フェライトが生成して脆化し、靱性を劣化させるので上限を 22.0 重量%とした。場合によっては、基地中の Cr 濃度が高くなりすぎて Ms（マルテンサイト変態開始温度）を下げ、十分な焼入れ硬さが得られなくなることがあるので、望ましくは上限を 16 重量%とし、耐食性の観点から下限を 12.0 重量%以上とすることが好ましい。

【0052】更に、炭素濃度によっては共晶炭化物が形成しやすくなる場合があるので、より好ましくは上限を 1.4 重量%とする。特に、N 添加量及び未固溶炭化物量に起因して、サブゼロを行っても残留オーステナイト γ_R が生じて焼入れ硬さが低下する場合には、望ましくは、耐食性を考慮して 11.5 重量%以上、13.5 重量%以下とする。

【0053】また、Cr は水中や湿潤等の一般腐食環境においてはその耐食性を著しく高めるのであるが、硫酸や塩酸等の還元性酸は不動態皮膜を侵す酸であり、場合によっては Cr 含有量が多いものほど腐食されやすくなることもある。また、Cr 含有量が多くなると素材の熱伝導率が小さくなり、研削性が低下する傾向にあり、素材のコストばかりか製造コストまでが上昇してしまう。これらの場合も上限を 13.5 重量%とするのが望ましい。

【0054】以上の理由により、Cr 含有量は 10.0 重量%以上 22 重量%以下好ましくは 11.5 重量%以上、13.5 重量%以下とする。

【Mn】Mn は製鋼時の脱酸剤として必要な元素で 0.1 重量%以上添加されるが、多量に添加すると鍛造性、被削性を低下させるだけでなく、S、P などの不純物と共存して耐食性を低下させるので上限を 1.5 重量%とした。なお、残留オーステナイト量が増加して十分な焼入れ硬さが得られなくなることがあるので、望ましい上

限は0.8重量%である。また、窒素の添加量によっては残留オーステナイト量が著しく増加して十分な焼入れ硬さが得られなくなることがあり、好ましくは上限を0.5重量%とする。

【0055】[Si] SiはMnと同じく製鋼時の脱酸剤として0.1重量%以上必要である。さらに焼戻し軟化抵抗性を高め、転動疲労寿命を向上させるのに有効な元素であるが、多量に添加すると靱性を低下させるので上限を2.0重量%好ましくは1.0重量%以下とする。

【0056】[S] SはMn等と介在物を形成して疲労強度を低下させ、さらには耐食性をも低下させるので、鋼中不純物としてなるべく少ないほうが良い。したがって、コストとの関係で0.030重量%以下に制限する。

【0057】[P] Pは偏析しやすくSと同様に疲労強度を低下させ、さらに耐食性を低下させるので、鋼中不純物としてなるべく少ないほうが良い。したがって、コストとの関係で0.030重量%以下に制限する。

【0058】[O] Oは酸化物系介在物を形成して著しく疲労寿命を低下させ、さらに音響特性も低下させる傾向があるのでなるべく少ないほうが良い。したがって、コストとの関係で100ppm以下、更に、より長寿命とするには、好ましくは50ppm以下に制限する。

【0059】[Mo] Moは焼入れ性および焼戻し軟化抵抗を著しく増大させる作用がある。さらに耐孔食性を改善する作用もある。しかし、過剰に添加すると靱性、加工性等を低下させるので、上限を3.0重量%とする。

【0060】[V] Vは強力な炭化物・窒化物生成元素であり、Cr炭化物、窒化物の形成を抑制すると共に、焼戻し過程で2次硬化を起こし、著しく強度を高める作用がある。しかし、多量に添加すると靱性、加工性を低下させるので、上限を2.0重量%とする。

【0061】[N] NはCと同様にマルテンサイトを強化して耐孔食性を向上させる作用があり、さらに粗大な1次共晶炭化物の形成を抑制するために0.05重量%以上好ましくは0.08重量%以上添加される。また、一般に、V、Mo、CrあるいはMn等の元素は窒素の溶解度を高めるが、通常の大気圧下での製鋼法では溶鋼中の窒素溶解度が小さいため、本発明鋼の成分範囲においては0.2重量%以上の窒素を添加することは難しい。0.2重量%以上の窒素を添加するためには高圧窒素雰囲気下での生産設備が必要になり、コスト高となるため好ましくない。また、大気圧下で多量の窒素を添加しようとする、凝固過程で気泡が生じてインゴットに多量の気孔が導入されたり、窒素量によっては(0.2重量%以上)多量の残留オーステナイトが生成して焼入れ硬さが低下したりして軸受寿命のバラツキを生ずることもあるため、N含有量の範囲は0.05重量%以上好ま

しくは0.08重量%以上、且つ望ましくは0.14もしくは0.15重量%以下とする。

【0062】[Ni] Niは強力なオーステナイト安定化元素であり、 δ フェライトの生成を抑え、靱性を向上させ、さらに耐食性、耐酸性を向上させる作用があるため、0.05重量%以上、より好ましくは0.5重量%以上添加される。しかし、必要以上に添加すると多量の残留オーステナイトが生成して十分な焼入れ硬さが得られなくなることがあるので、上限を3.5重量%とした。特に、転動装置が酸素を含む環境で使用される場合に添加すると有効である。

【0063】[Cu] CuもNiと同様に若干のオーステナイト安定化作用をもつ元素であり、 δ フェライトの生成を抑え、さらに耐食性、耐酸性を向上させる作用があるため0.05重量%以上、より好ましくは0.5重量%以上添加される。しかし、多量に添加すると、転動装置の製造工程で必要とされる熱間鍛造工程において熱間割れが生じる場合があるので上限を3.0重量%とした。特に、転動装置が酸素を含む環境で使用される場合に添加すると有効である。

【0064】 $[Ni\% + 2.4Mn\% + 0.3Cu\%] \leq 5.0$ Ni, Mn, Cuはいずれもオーステナイト安定化元素であり、オーステナイト領域を拡大したり、Ms点を下げてマルテンサイト変態を起こしにくくする作用があり、それらの含有量が多くなりすぎると残留オーステナイト量が増加して転動疲労に耐えるだけの十分な硬さが得られなくなる。そのため、総含有量を $Ni\% + 2.4Mn\% + 0.3Cu\% \leq 5.0$ を満足する範囲とした。

【0065】ここで、炭素を窒素に置き換える本願発明の意味の一つは次の通りである。高温焼戻し(400~600℃)して2次析出硬化する際に、炭化物のみのマルテンサイト系ステンレス鋼(例えばG, H鋼)では、 $M_{23}C_6$ なる微細な金属炭化物を例にとると、炭素1原子に対し金属M(例えばCr, Mo, Vなども同じ)の方は約4原子が基地から奪われる。これに対して本発明では炭素の一部を窒素に置き換え固溶させるので、

(炭)窒化物が CrN , Cr_2N (V, Moでも同じ)となり、窒素Nの1原子に対して金属のCrは1~2原子となる。すなわち炭化物のみのマルテンサイト系ステンレス鋼からなる軸受の基地から奪われるCrの量が減少し、その分、軸受の耐食性が向上するのである。加えて、窒(炭)化物は耐食性が炭化物のみより大である。

【0066】[C+N] マルテンサイト強化及び2次硬化によってHRC58以上の表面硬度を得るためには、C+Nが0.45重量%以上必要である。

【0067】また、炭素、窒素あるいはCr濃度によっては多量の残留オーステナイトが生成して十分な焼入れ硬さが得られなくなることがある。したがって、炭素+窒素の総含有量は好ましくは0.65%以下に制限され

る。

【0068】また、この成分範囲内であれば、粗大な共晶炭化物が生成したり、フェライトが生成して靱性を低下させることもない。

【含有する共晶炭化物あるいは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下、焼入れ、サブゼロ処理、及び焼戻し後の硬さがHRC58以上】製鋼時の凝固過程で形成される共晶炭化物は長径 $20\mu\text{m}$ 以上であると、仕上げ加工する際に目標となる面粗さ等の精度達成が困難であること、及び回転作動中に炭化物と基地の間に摩耗差が生じることから、音響特性が低下する（図5）。またその効果を発揮させるためには、望ましくは $3\mu\text{m}$ 未満とする。また、この粗大共晶炭化物等が応力集中源となることから、疲労寿命、靱性等を低下させ、さらには基地中のCr濃度が不足して耐食性が低下する。本発明の転がり軸受の内輪、外輪、転動体のうち少なくとも一つを構成する鋼は炭素含有量が低く、窒素を含有しているために、共晶炭化物が粗大化しないか、あるいは全く生じないで、微細な2次炭化物あるいは窒化物等が析出して強度を高める。

【0069】また、共晶炭化物あるいは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下であっても、焼入れ（サブゼロ処理）、焼戻し後の硬さがHRC58以上でないと十分な疲労強度が得られない。

【0070】しかして、上記の条件を満たして得られる音響特性、疲労寿命、耐食性、耐摩耗性等を兼備した転がり軸受を、比較的高温な環境で使用する場合があります。そのような場合の条件とその臨界的意義は、次の通りである。

【0071】【含有する共晶炭化物あるいは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下、焼入れ及びサブゼロ処理後、 400°C 以上 600°C 以下の温度で焼戻されて、かつ焼戻し後の硬さがHRC58以上】含有する共晶炭化物あるいは窒化物（炭窒化物を含む）が長径で $20\mu\text{m}$ 以下である理由は、前記内容と同様であるが、軸受が比較的高温で 사용되는場合は寸法安定性を考慮して使用温度よりも高い温度で焼戻される。従来のステンレス鋼であると焼戻し温度が高くなると次第に軟化して、疲労強度が低下し、耐摩耗性が劣化する。しかし、本発明の転がり軸受に用いる鋼は2次硬化に作用する元素としてNあるいはMo、V等を含有している。そのため、焼戻し温度が 400°C 以上 600°C 以下であれば、微細な窒化物（炭窒化物）が析出してHRC58以上の硬度が維持され、高い耐摩耗性が得られるのである。より好ましい硬度HRC60以上とするには、焼戻し温度は 450°C ～ 525°C が望ましい。

【0072】更に、【共晶炭化物及びその他未固溶炭化物がないか又はその大きさが $2\mu\text{m}$ 以下、面積率で5%以下】とする理由は次の通りである。基地中に粗大な炭化物が存在するとその近傍ではCrが欠乏して局部腐食

を受けやすくなる。特に、製鋼時の凝固過程で生成する共晶炭化物は粗大化しやすく、その後の熱処理では基地中に溶け難く、耐食性においては著しく有害である。また、その大きさが長径で $5\mu\text{m}$ を超えると疲労寿命にも悪影響を及ぼすようになるので、その存在は好ましくない。また、共晶炭化物が存在しないような場合であっても、その他に2次的に析出した未固溶炭化物が存在するが、それら共晶炭化物及びその他未固溶炭化物の大きさが $2\mu\text{m}$ を超えると著しく耐局部腐食性が低下するのでそれらの大きさを $2\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $1.5\mu\text{m}$ 以下に限定する。

【0073】また、炭化物が微細であってもその量が面積率で5%を超えると不動態化特性が著しく低下するため、その量を面積率で5%以下、好ましくは3%以下に限定する。

【0074】【残留オーステナイト γ_R 】音響特性は一般に共晶炭化物の大きさ等に大きく影響されるが、一方で、 γ_R が多いと衝撃荷重あるいは γ_R 分解等による精度低下に起因して音響特性が劣化する。特に音響特性が重視される用途で使用される軸受の場合では、 γ_R を6体積%以下とすることによって、耐衝撃性が著しく向上し、音響劣化を防止できる。その効果を十分に発揮するためには望ましくは4体積%以下とする。

【0075】【転動体；セラミックス材料】転動体、または軌道輪の一方にセラミックス材料を用いることにより、潤滑不良における磨耗を低減でき、さらに、高速化にも対応できる。また、セラミックスは金属材料に比べて耐食性が著しく良好な上に、絶縁体であるため異種金属との接触によるガルバニ腐食も抑制できる。しかし、セラミックスは強度、コストの面で軌道輪に用いるのは好ましくない。したがって、転動体のみにセラミックスを用いることができる。しかし、転動体にセラミックスを用いる場合には、セラミックスはほとんど弾性変形しないため、転動体に金属材料を用いた場合よりも軌道輪は高面圧を受ける。軌道輪にSUS440C等に見られるような粗大な共晶炭化物が存在すると、潤滑不良下、特に水中等で使用される場合には、粗大な共晶炭化物において応力集中して、表面疲労の剥離が生じる。

【0076】本願発明鋼は応力集中源となる粗大な炭化物が存在しないので、転動体にセラミックスを用いても良好な寿命が得られ、さらに耐摩耗性、耐食性も良好であるため、腐食環境・潤滑不良下、例えば、水中等で使用されるような転がり軸受の適用に好ましい。

【0077】【C量とCr、N量との関係】Cr含有量が高く、炭素含有量が低い場合には、 δ フェライトが生成して靱性を著しく低下させるのであるが、窒素添加によって δ フェライトが生成する炭素濃度は低くなる。炭素濃度の下限を $\text{C}\% \geq 0.04$ $\text{Cr}\% - 0.83$ $\text{N}\% - 0.39$ とすることによって δ フェライトの生成を抑制できる。

【0078】また、炭素濃度の上限を $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ に限定しないと、 $20\mu m$ 以上の粗大な1次共晶炭化物が生成して、音響特性、疲労寿命を低下させる(図5)。

【0079】なお、 $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ であっても、製鋼時の凝固速度等の影響で1次共晶炭化物が $5 \sim 20\mu m$ 程度あるいはそれ以上に粗大化する場合もたびたび見られるが、本発明の転がり軸受に使用するステンレス鋼にあっては、共晶炭化物の粗大化を抑制する窒素を含有しているので、 $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ を満足すれば $20\mu m$ 以上には粗大化しないか、あるいは全く共晶炭化物が生じないで微細な2次炭化物もしくは窒化物が析出して強度を高める。

【0080】図4-a及び図4-bは、炭素CおよびクロムCrに関して本願発明に係る領域を示すもので、特に図4-bは炭素量の上限を0.5重量%とした、より好ましい態様の場合を示している。いずれの場合も、既に述べたC及びCrの上、下限値に加え、ここで述べているCとCr及びNとの関係式によって規定される。即ち図4-a、図4-b中の直線Iは $C\% = -0.05Cr\% + 1.41$ を表し、直線Iより上側では共晶炭化物が粗大化し、直線Iおよびその下側では共晶炭化物の粗大化が抑制される。また、図4-a、図4-b中の直線IIは $C\% = 0.04Cr\% - 0.83N\% - 0.39$

〔但し、図では $N = 0.2$ 重量%の場合を示している。本発明のNの範囲は $0.05 \sim 0.2$ 重量%未満であるから、N量により、この範囲内で直線IIは変化する(N量の低下に伴い図より上側に平行にずれる)。〕を表し、直線IIより下側では δ フェライトが生成され、直線II上及びこれより上側では δ フェライトの生成が抑制される。

【0081】以上をまとめると、本発明の転がり軸受の内輪、外輪、転動体のうち少なくとも一つのC及びCrのとり得る範囲は、(Nが上限値の場合で)図4-aの網目模様入りの領域で表されるということになる。更に、耐食性の観点から、より望ましくは図4-bの網目模様入りの領域で表される範囲となる。

【0082】Cについては、耐食性の点から図9のように 0.45 重量%未満とすることで、より安定した好耐食性が得られる。

(実施例) 次に、本発明に係る発明の実施例を説明する。

【0083】先ず、本発明の転がり軸受その他の転動装置(A)の実施例で用いた鋼A～G及び比較例の鋼H～Mの合金成分を表1に示す。

【0084】

【表1】

	記号	C	Cr	Mn	Si	Mo	V	N
実施例	A	0.38	12.30	0.64	0.60	—	—	0.07
	B	0.40	15.45	0.55	0.50	1.06	—	0.17
	C	0.45	15.10	0.58	0.48	0.48	1.01	0.19
	D	0.32	12.90	0.58	0.42	0.97	—	0.16
	E	0.39	14.95	0.52	0.57	—	—	0.11
	F	0.48	14.89	0.53	0.48	0.54	0.62	0.18
	G	0.50	15.86	0.55	0.45	—	—	0.12
比較例	H	0.64	12.60	0.59	0.36	0.04	—	—
	I	1.02	17.12	0.59	0.36	0.40	—	—
	J	0.22	14.83	0.57	0.41	0.27	—	0.17
	K	0.22	19.83	0.57	0.41	0.87	—	0.18
	L	0.68	14.93	0.54	0.38	—	—	—
	M	0.76	15.82	0.52	0.53	—	—	0.10

また、熱処理条件は加熱温度を $1020^{\circ}C \sim 1080^{\circ}C$ とし、 $60^{\circ}C$ の焼入油中に焼入れ後、直ちに $-80^{\circ}C \times 1$ 時間のサブゼロ処理を行い、 $180 \sim 220^{\circ}C \times 2$ 時間または $480 \sim 520^{\circ}C \times 2$ 時間 $\times 2$ 回の焼戻しを行った。表1における比較例のK鋼は $0.04Cr\% - 0.83N\% - 0.39 \leq C\%$ を満足しておらず、 δ フェライトの生成が認められたので、その後の評価は行わ

なかった。

【0085】表1の各鋼種の供試材から採取した試験片について行った熱処理品質及び塩水噴霧、孔食電位測定による耐食性評価の結果、並びに音響試験、耐摩耗性、疲労寿命評価の結果を、表2に示す。

【0086】

【表2】

試験片No	鋼種	焼成	硬さ HRC	共晶炭化物 長径(μm)	7R (%)	孔食電位 mV vs SCE (50hr後)	合管試験		厚 率 ($\times 10^{-3}$ g/m)	寿命 $\times 10^7$ 時間
							管特性	管腐化		
1	A	180~220℃	58.6	3μm以下	6	○	0.4	0.7	0.68	9.7
2	B	180~220℃	60.1	3μm以下	9	○	0.4	0.9	0.55	10.1
3	C	180~220℃	59.8	3μm以下	10	○	0.4	0.9	0.52	11.4
4	C	480~520℃	61.2	3μm以下	4%以下	○	0.4	0.4	0.18	10.7
5	D	180~220℃	59.2	3μm以下	7	○	0.4	0.8	0.57	11.2
6	D	480~520℃	60.7	3μm以下	4%以下	○	0.4	0.4	0.20	10.8
7	E	180~220℃	59.8	3μm以下	7	○	0.4	0.7	0.60	10.3
8	E	480~520℃	60.1	3μm以下	4%以下	○	0.5	0.5	0.22	12.6
9	F	180~220℃	59.4	3μm以下	10	○	0.4	0.8	0.55	11.5
10	F	480~520℃	60.9	3μm以下	4%以下	△	0.4	0.8	0.19	11.5
11	G	180~220℃	58.6	3μm以下	11	△	0.5	1.0	0.62	10.4
12	G	480~520℃	60.4	3μm以下	4%以下	×	0.5	0.5	0.21	11.2
13	H	180~220℃	58.2	6μm	8	×	0.6	1.0	0.68	7.6
14	H	480~520℃	55.4	6μm	4%以下	×	0.6	0.7	1.12	1.9
15	I	180~220℃	59.7	23μm	11	×	2.4	2.6	0.49	1.7
16	I	480~520℃	56.8	23μm	4%以下	×	2.5	2.5	0.87	1.1
17	J	180~220℃	56.4	3μm以下	6	○	0.5	0.8	0.95	6.2
18	L	180~220℃	58.7	18μm	9	×	1.2	1.7	0.60	5.4
19	M	180~220℃	59.5	17μm	12	×	0.9	1.6	0.50	6.3

実施例

比較例

さらに、図6に、実施例と比較例とのアノード分極曲線測定結果を示した。塩水噴霧試験は、JIS規格Z2371に準拠し、温度35℃で5%NaCl溶液を用いて行い、試験時間50時間後の試験片の外観で判定した。表2中、◎は全く発錆しなかったもの、○は僅かに発錆が見られたもの、△はほぼ全面で発錆したもの、×は著しく発錆したものを表す。

【0087】また、孔食電位測定は、JIS規格G0577に準拠して行った。まず研磨紙で800番まで研磨した試験片を60℃の30%HNO₃溶液中に1時間浸漬して不働態化処理し、その後30℃、3.5%NaCl

1溶液中で電位掃引速度20mV/minで掃引し、アノード電流密度が100μA/cm²に達したときのmVvsSCEで評価した。

【0088】アノード分極曲線測定はJIS規格G0579に準拠して行い、研磨紙で1200番まで研磨した試験片を30℃の5%H₂SO₄溶液中でカソード処理した後、スイープ速度20mV/minで1200mVvsSCEまで測定した。

【0089】摩耗試験は、図7に示す2円筒摩耗試験機を用いて以下の条件で行った。この摩耗試験機は、上下に対向させた一対の円筒10にそれぞれ試験片Sを装着

して、上から荷重Pを負荷しながら互いに接触状態で逆方向に低速で回転させて両試験片Sの磨耗率(g/m)の平均値を求めるものである。なお、相手材はすべて同一材で評価した。

【0090】荷重 : 50 kgf

回転数 : 200 rpm

すべり率 : 30%

潤滑 : S10

寿命試験は、森式スラスト転がり寿命試験機を用い、以下の試験条件で行った。

【0091】面圧 : 4900 MPa

回転数 : 1000 rpm

潤滑油 : 68番タービン油

音響特性は、表1の鋼種を用いて製作した転がり軸受(625)を被検体とし、図8に示すようなHDDスピンドルモータに予圧をかけた状態で組み込んで回転試験を行い、初期アンデロン値(ハイバンド)の測定を行って評価した。図8において、外輪1と内輪2と転動体としての玉3とを備えた被検体の転がり軸受Wは、外輪1をモータスリーブ7に、内輪2をモータ軸8にそれぞれ嵌合して装着される。モータ部9の回転駆動力で転がり軸受Wを介してモータ軸8を回転させる。この場合の、転がり軸受Wは内輪回転で駆動される。

【0092】また、衝撃荷重による音響劣化度合いを測定するために、上記スピンドルモータをそれぞれ落下させて10kgの衝撃荷重を加えて、同様の回転試験を行い、初期アンデロン値(ハイバンド)の測定を行った。

【0093】図9、図10に、炭素、窒素濃度と耐食性との関係を示した。図9から、転動装置を構成する合金組成中の炭素濃度が多くなると次第に転動装置の耐食性は低下する。そして、0.6重量%以上となると共晶炭化物の形成が促進されて耐食性は急激に著しい低下を示すことが明らかである。一方、図10から、転動装置の合金組成に窒素を0.05重量%以上含有させてあると、炭素含有量の低下との相乗効果により耐食性が飛躍的に向上することが明らかである。また、窒素を添加しても、炭素含有量が0.5重量%以上であると耐食性が改善されない。本発明の転がり軸受その他の転動装置にあっては、表1に示されるように(実施例A~G)、その合金成分の炭素濃度が0.6重量%未満であり、さらに窒素濃度が0.05~0.2重量%未満の範囲内で添加されているから、特に鋼種A~Fのものでは孔食電位測定、塩水噴霧による耐食性評価の結果(表2の試験片No. 1~10)に示される通り耐食性は著しく良好または良好である。但し、試験片No. 11及び12は、Cが0.5重量%であり寿命は良いが、鋼種A~Fに比べると耐食性がやや劣っている。従って、特に耐食性が重視される場合では、炭素濃度は、より好ましくは0.5重量%未満(さらに好ましくは0.45重量%未満)とする。窒素を含有しない比較例H, I, Lの鋼種のも

の(表2の試験片No. 13~16及び18)は、低い耐食性を示している。

【0094】また、実施例の場合は、高温焼戻し後においても良好な耐食性を示した(表2の実施例における試験片No. 4, 6, 8, 10)。これに対して比較例のものは高温で焼戻しすることにより耐食性が一層低下し、塩水噴霧試験においても著しい発錆が認められた(表2の比較例における試験片No. 14, 16)。

【0095】図11は、実施例の鋼種C及びEと比較例の鋼種Hにおける、焼戻し温度と硬さとの関係をプロットしてグラフに表したものである。比較例の鋼種Hでは焼戻し温度が高くなると次第に軟化するのに対して、実施例の鋼種C及びEの場合には2次硬化するため500℃で焼戻ししても硬さHRC58以上を保持している。

【0096】さらに、表2からも明らかなように、実施例のNo. 8では2次硬化により硬くて微細な窒化物(炭窒化物)等が析出するために、摩耗率が比較例のNo. 14の1.12に対して0.22とおよそ1/5になり、耐摩耗性が格段に高くなっている。なお、図12に示すように、実施例の鋼種におけるこれらの窒化物等は熱的に安定であるために、高温における硬さも比較例の鋼種より高いという結果が得られた。

【0097】音響特性についてみると、実施例の場合はC含有量の下限値が $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ を満足しているため、粗大な共晶炭化物等がなく、ほとんどの場合において長径3μm以下の微細な炭化物あるいは窒化物(炭窒化物)を形成しており、音響特性が著しく良好である。

【0098】寿命については、図13に炭素含有量と窒素含有量との和C+Nと寿命との関係を示す。すなわち、C+Nが0.45重量%以下であると、その固溶量が不足して寿命が低下し、また、C+Nが0.7~0.8重量%以上では共晶炭化物の粗大化あるいは残留オーステナイト量の増大等によって寿命が低下した。

【0099】比較例の個々の試験片についての評価は以下の通りである。比較例No. 13は $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ を満足しているが、窒素が含有されていないために、共晶炭化物は実施例の鋼種よりもやや粗大化して十分な耐食性が得られない。

【0100】比較例No. 14は同No. 13と同じ鋼種のもを高温で焼戻した場合の例であるが、硬さ、耐摩耗性、寿命が低下したうえに耐食性も劣化した。比較例No. 15は、従来の鋼種であるSUS440Cの例であるが、 $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ を満足していないため、粗大な共晶炭化物が形成されて疲労寿命が著しく低下している。

【0101】比較例No. 16は、SUS440Cを高温焼戻した場合の例であるが、比比較No. 14と同じく、硬さ、耐摩耗性、寿命が低下したうえに耐食性も劣化している。

【0102】比較例No. 17は、窒素を含有してはいるが炭素濃度が低く、炭素+窒素の総含有量が0.45重量%に満たない場合の例であり、良好な耐食性は有しているものの炭素+窒素の固溶量が不足して十分な硬度が得られず、疲労寿命が低下している。

【0103】以上の評価に対して、実施例の場合は、図6のアノード分極曲線に示されるように、比較例のものに比べて著しく良好な耐食性を有しており、高温で焼戻

しされた場合（実施例の試験片No. 4, 6, 8, 10）でさえ良好な耐食性を保持している。

【0104】続いて、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置（B）の実施例を説明する。本発明の転がり軸受その他の転動装置（B）の実施例で用いた鋼N～R及び比較例の鋼S～Vの合金成分を表3に示す。

【0105】

【表3】

	記号	C	Cr	Mn	Si	Mo	V	N	C+N
実施例	N	0.33	12.30	0.32	0.50	—	—	0.12	0.45
	O	0.37	12.85	0.34	0.42	0.97	—	0.13	0.50
	P	0.40	12.50	0.41	0.48	0.48	0.82	0.14	0.54
	Q	0.44	12.12	0.28	0.42	0.97	—	0.13	0.57
	R	0.39	13.25	0.38	0.57	—	—	0.11	0.50
比較例	S	0.45	15.18	0.55	0.50	—	—	0.17	0.62
	T	0.39	14.95	0.52	0.57	—	—	0.13	0.52
	U	0.48	15.23	0.61	0.57	—	—	0.14	0.62
	V	0.69	13.24	0.57	0.39	—	—	—	0.69

また、熱処理条件は加熱温度を1000℃～1120℃とし、60℃の焼入油中に焼入れ後、直ちに-190℃×20分間のサブゼロ処理を行い、160～220℃×2時間または480～520℃×2時間×2回の焼戻しを行った。

【0106】表4に、それらの供試片の熱処理品質及び塩水噴霧試験、孔食電位測定による耐食性評価の結果、並びに音響試験、疲労寿命評価の結果を示した。

【0107】

【表4】

試験片No	種類	温度	長さ H _{RC}	未固溶炭化物 5%平均(μm)	未固溶炭化物 面積率	γ ₂ (%)	孔食電位 mV _{SSCE}	塩水噴霧 (50h後)	音響試験 (High Band)	寿命 × 10 ⁷ cycles
B-1	N	160~220℃	61.1	0.6	0.01	3	286	○	0.3	11.5
B-2	N	160~220℃	61.3	0.0	0.00	4	293	○	0.3	9.7
B-3	O	160~220℃	61.3	0.7	0.02	3	298	○	0.3	12.4
B-4	P	160~220℃	62.5	0.8	0.03	5	280	○	0.3	11.8
B-5	Q	160~220℃	61.7	1.1	0.03	4	276	○	0.3	10.2
B-6	R	160~220℃	61.1	0.8	0.02	3	288	○	0.3	12.6
B-7	O	480~520℃	61.5	—	—	0	195	○	0.3	11.7
B-8	P	480~520℃	61.7	—	—	0	196	○	0.3	10.9
B-9	R	480~520℃	61.6	—	—	0	202	○	0.3	12.3
B-10	S	160~220℃	60.1	1.2	0.07	9	141	○	0.4	10.1
B-11	T	160~220℃	60.3	0.8	0.06	7	157	○	0.4	10.7
B-12	U	160~220℃	61.4	2.1	0.05	10	133	○	0.5	8.8
B-13	S	160~220℃	56.4	0.8	0.02	39	281	○	0.3	6.2
B-14	T	160~220℃	56.7	0.8	0.02	33	306	○	0.3	4.9
B-15	V	160~220℃	58.8	3.4	0.07	9	-192	×	0.8	5.6

表4中の「未固溶炭化物、5%平均(μm)」は、次の方法で求めた。走査型電子顕微鏡(例えば倍率3000倍)の1視野内の写真を撮り、写真にある未固溶炭化物をランダムに100個抽出し、それらを画像解析処理して未固溶炭化物の長径(a)と短径(b)との平均粒径 $1/2(a+b)$ を求めてその平均粒径を大きい順に並べ、100個の内の5%つまり5個の未固溶炭化物の平均粒径値を次式(1)で求めた。

【0108】

【数1】

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{2}(a_i + b_i) / n \quad \dots\dots (1)$$

なお、上記のように走査型電子顕微鏡を用いる他に、光

学顕微鏡画像解析装置で自動的に算出して求めることもできる。

【0109】塩水噴霧試験は、上記と同様にJIS規格Z2371に準拠して行い、試験時間100時間後の試験片の外観で判定した。表4中、◎は全く発錆しなかったもの、○は僅かに発錆が見られたもの、×は著しい発錆が見られたものを表す。

【0110】また、孔食電位測定はJIS規格G0577に準拠し、アノード分極曲線測定はJIS規格G0579に準拠してそれぞれ上記と同様の方法に依った。音響試験も上記と全く同様に、図8に示すHDDスピンドルモータを用いて行った。

【0111】寿命試験もまた上記同様、森式スラスト転

がり寿命試験機を用いて同一試験条件で行った。図14に、未固溶炭化物の大きさ及び面積率と塩水噴霧試験の評価結果の関係を示した。本実施例の転がり軸受(B)に係る鋼は、未固溶炭化物の大きさが $2\mu\text{m}$ 以下であり、その量も面積率で5%以下であるから、塩水噴霧試験で良好な耐食性を示した。比較例は窒素が添加されていないか、もしくは未固溶炭化物の大きさが $2\mu\text{m}$ 以上あるいはその量が面積率で5%以上であるため、耐食性が本実施例のものに比べて劣っている。

【0112】すなわち、局部腐食の起点となる粗大化した炭化物や偏析等をできるだけ低減させて、均一なマルテンサイト組織を得ることによって、その合金組成が本来備えている耐食性を発揮することが可能になると考えられる。本実施例は未固溶炭化物の平均粒子径が $2\mu\text{m}$ 以下、面積率が5%以下であり、すべてにおいて高い硬度と耐食性を有し、音響特性や寿命においても良好な結果を示した。さらに、残留オーステナイトを分解するために 500°C 程度の高温で焼戻しても高い耐食性を維持し続け、焼戻過程で窒素の効果により2次硬化するため、従来のマルテンサイト系ステンレス鋼に見られるような硬度低下も抑制できる。

【0113】比較例No. B-10~12は窒素添加してはいるが、未固溶炭化物の大きさあるいは量が大きいために本実施例の鋼に比較してやや耐食性が劣っている。比較例No. B-13~14はNo. 10~12に比べて高温で焼入した場合の例であるが、Cr含有量と

N含有量が多いために基地中のMs点が下がり、多量の残留オーステナイトが生じて硬さ及び寿命が低下した。

【0114】比較例No. B-15は従来のマルテンサイト系ステンレス鋼の例であるが、窒素が含有されていないため著しく耐食性が劣っている。さらに炭化物も窒素を添加した場合に比べて粗大化して、最大長径で $23\mu\text{m}$ もの共晶炭化物が生成して疲労寿命が劣化した。

【0115】以上説明したように、本発明の転がり軸受その他の転動装置(B)に係る発明は、従来のマルテンサイト系ステンレス鋼よりも寿命、音響特性等に優れた転がり軸受その他の転動装置、特に耐食性が良好な転がり軸受その他の転動装置を提供するものである。

【0116】更に続いて、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置(C)ないし転がり軸受その他の転動装置(D)の実施例を説明する。この実施例において転動装置である転がり軸受を構成する軌道輪に用いた鋼は、さきに述べた実施例で用いた表1~表4の中から選定した。一方、転動体の材料はセラミックスの窒化ケイ素を用いた。

【0117】表5に示すような組み合わせの実施例と比較例とについて、水中寿命試験を行って性能を比較した。表5で、軌道輪の試験片No.の欄の記号は、表2、表3の試験片No.と対応している。

【0118】

【表5】

	No.	軌道輪の 試験片No.	ボール	寿命 ($\times 10^4$ 回転)
実施例	1	2	窒化ケイ素	15.7
	2	3	窒化ケイ素	17.3
	3	4	窒化ケイ素	42.2
	4	B-8	窒化ケイ素	37.4
	5	B-6	窒化ケイ素	16.4
	6	B-9	窒化ケイ素	35.6
	7	10	窒化ケイ素	37.6
比較例	8	2	SUS440C	0.87
	9	3	SUS440C	0.86
	10	4	SUS440C	2.47
	11	B-8	SUS440C	1.81
	12	B-6	SUS440C	0.84
	13	B-9	SUS440C	1.68
	14	10	SUS440C	2.35
	15	13	SUS440C	0.83
	16	15	SUS440C	0.92
	17	18	SUS440C	0.86
	18	13	窒化ケイ素	3.2
	19	15	窒化ケイ素	2.8
	20	18	窒化ケイ素	2.6

水中寿命試験は、図15に示すような水中スラスト寿命試験機を用い、スラスト転がり軸受Wsを被試験体として水中に保持し、水道水をオーバーフローさせながら行った。図15において、外輪1s、内輪2s、転動体としての玉3s、保持器4sを備えた被検体の転がり軸受Wsは、外輪1sを固定支持し、内輪2sを回転軸Jに

より回転させた。

【0119】寿命判定は、加速度ピックアップにより検出した振動レベルが初期値の5倍程度に達した時点を軸受寿命とした。以下に、水中スラスト寿命試験条件を示す。

【0120】荷 重：150kgf

回転数：1000rpm

転動体：窒化ケイ素（ハイブリッドの場合）又はSUS440c

転動体個数は6個

試験軸受：スラスト玉軸受51305

保持器：フッ素樹脂

試験結果を表5に示した。また、図16に、摩耗速度と寿命との関係を示した。図16中の摩耗速度（横軸）は、内輪、外輪の一つの軌道輪に対し、その6箇所（非剥離部）の寸法変化量を測定して平均値を求め、その値を摩耗量として寿命時間で除したものである。

【0121】表5及び図16より明らかなように、水中寿命試験においては、軌道輪及び転動体の両方共ステンレス鋼を用いたオールステンレスの軸受の場合は全て短寿命であった。これは、先にも述べたように、水中などのように著しく潤滑条件が厳しい場合には、軌道輪と転動体とが直接接触して著しい摩耗が生じるためであり、その破損形態はすべて摩耗損傷であって、剥離損傷ではなかった。すなわち、オールステンレス軸受の寿命は耐摩耗性に強く依存し、本願発明鋼の高温焼戻したものがやや長寿命であったが、その他は比較鋼との間に明瞭な差が認められない。

【0122】これに対し、軌道輪に本発明のステンレス鋼を、転動体にはセラミックスを用いてハイブリッド化した実施例の軸受にあつては、著しく摩耗が抑制されて長寿命化することが認められる。特に、2円筒摩耗試験の結果が良好な耐摩耗性を示したNo. 4, No. B-8, No. B-9, No. 10で軌道輪を構成した各実施例において更に長寿命となる傾向にある。

【0123】しかし、同じくハイブリッド軸受ではあつても、軌道輪を比較例No. 13, No. 15, No. 18としたものでは、転動体にセラミックスを用いることで摩耗は低減できるが、破損形態が摩耗損傷から剥離

損傷へと変化したため寿命が改善されなかった。これは、ハイブリッド化によって軌道輪が受ける面圧が大きくなったことと、軌道輪を比較例No. 13, No. 15, No. 18としたものでは、鋼中に長径5 μ m以上の粗大な共晶炭化物が内在し、それらの粗大炭化物が応力集中源として作用したためであると考えられる。

【0124】したがって、潤滑不良下、特に水中等の潤滑不良・腐食環境下において使用される転がり軸受においては、金属／金属接触を避けるために、転動体にセラミックスを用い、さらに軌道輪として用いる材料は応力集中源となるような粗大な炭化物がなく、耐食性、耐摩耗性が良好なステンレス材料であることが要求されるといえる。

【0125】なお、上記の転がり軸受その他の転動装置（C）,（D）の説明では、実施例として転動体にセラミックスを用いた転がり軸受を取り上げたが、本発明はこの実施例に限定されるものではなく、リニアガイドやボールねじ等のその他の転動装置において転動体にセラミックスを使用した場合をも包含するものである。

【0126】以上の説明から、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置（C）,（D）によれば、腐食環境下、特に水中等のような潤滑不良が予期されるような環境で使用される場合でさえ、耐食性、耐摩耗性、寿命等が良好で十分に機能を発揮することが可能になるといえる。

【0127】続けて、本発明に係る転がり軸受その他の転動装置（E）の実施例を説明する。この実施例に用いた供試材W, X, Y, Z, R, E, Q, P及び比較例の鋼H, I, M, A', B', C'の各合金成分を表6に示す。

【0128】

【表6】

	記号	C	Cr	Mn	Si	Mo	V	Ni	Cu	N
実施例-1	W	0.42	12.96	0.32	0.25	—	—	1.49	1.51	0.08
	X	0.37	11.98	0.28	0.26	—	—	0.58	2.82	0.12
	Y	0.35	13.25	0.30	0.35	0.98	—	0.99	0.98	0.14
	Z	0.45	13.05	0.31	0.30	0.98	0.52	3.28	1.02	0.10
実施例-2	R	0.39	13.25	0.38	0.57	—	—	0.06	0.06	0.11
	E	0.39	14.95	0.52	0.57	—	—	0.06	0.07	0.11
	Q	0.44	12.12	0.28	0.42	0.97	—	0.05	0.07	0.13
	P	0.40	12.50	0.41	0.48	0.48	0.82	0.05	0.07	0.14
比較例	H	0.64	12.60	0.59	0.36	0.04	—	—	—	—
	I	1.02	17.12	0.58	0.36	0.40	—	—	—	—
	M	0.76	15.82	0.52	0.53	—	—	—	—	0.10
	A'	0.44	13.16	0.45	0.37	—	—	3.68	0.49	0.14
	B'	0.43	13.08	0.43	0.35	—	—	1.02	3.26	0.13
	C'	0.42	13.02	0.59	0.38	—	—	3.17	1.99	0.13

なお、この表6中の実施例－2の欄に示した合金記号R, E, Q, Pは前出の表1の実施例の欄に示した記号E及び表3の実施例の欄に示した記号R, Q, Pの各記号にそれぞれ対応しており、これら4種は表1, 表3では省略したが、微量のNiとCuを含んでおり、表6ではNiとCuとも併せて示している。

【0129】また、この表中の比較例の欄に示した合金記号H, I, Mは表1に示した合金記号と同一（組成）のものである。これらの各鋼種の供試材を用いた試験片に対して次の条件で熱処理を施した後、塩水噴霧試験、

硫酸及び塩酸浸漬試験、臭化リチウム溶液浸漬試験を行った。熱処理条件は、加熱温度を1000℃～1060℃とし、60℃の焼入油中に焼入れ後、直ちに－80℃×1時間のサブゼロ処理を行い、160～220℃×2時間の焼戻しを行った。

【0130】表7に、各試験片の熱処理品質及び塩水噴霧試験結果、硫酸及び塩酸浸漬試験結果、臭化リチウム溶液浸漬試験結果を示す。

【0131】

【表7】

	試験片 No.	鋼種	硬さ HRC	共晶あるいは未固溶 炭化物長径 (μm)	塩水噴霧 (1週間後)	耐LiBr性 (1週間後)	耐 H_2SO_4 性 (g)		耐HCl性 (g)	
							1N	5N	1N	5N
実施例-1	C-1	W	60.0	3以下	◎	◎	0.05	0.07	0.03	0.04
	C-2	X	60.5	3以下	◎	◎	0.02	0.03	0.06	0.07
	C-3	Y	60.2	3以下	◎	◎	0.09	0.10	0.05	0.06
	C-4	Z	59.8	3以下	◎	◎	0.06	0.08	0.02	0.03
実施例-2	C-5	R	60.8	3以下	△	○	0.98	2.02	0.24	0.36
	C-6	E	60.2	3以下	○	○	0.65	1.24	0.59	0.98
	C-7	Q	61.3	3以下	○	○	0.68	0.96	0.26	0.42
	C-8	P	62.2	3以下	○	○	0.62	0.89	0.22	0.38
比較例	13	H	58.2	6	×	×	3.6	8.8	0.28	0.45
	15	I	59.7	23	×	×	2.2	4.3	0.53	0.83
	19	M	59.5	17	×	×	1.8	3.8	0.42	0.92
	C-9	A'	57.1	3以下	◎	◎	0.08	0.10	0.04	0.06
	C-10	C'	56.7	3以下	◎	◎	0.03	0.04	0.03	0.04

塩水噴霧試験は表2の場合と同じくJIS規格Z2371に準拠し、温度35℃で5%NaCl溶液を用いて行い、試験時間1週間後の試験片の外観で判定した。

【0132】硫酸及び塩酸浸漬試験は、直径18mm×厚さ10mmの試験片を、室温で1N及び5N水溶液中に20時間浸漬した際の重量減少量で評価した。図17に硫酸浸漬試験の結果、図18に塩酸浸漬試験の結果をそれぞれ示す。

【0133】臭化リチウム溶液浸漬試験は、予め当該溶

液をArガスで2時間バブリングして脱気した後、その溶液を温度35℃に保持し1週間浸漬して行い、試験片の外観で判定した。

【0134】また、寿命試験として、クリーン油浴潤滑下での寿命試験及び水中寿命試験を、以下の試験条件で行った。

(クリーン油浴潤滑下寿命試験) 先に、転がり軸受その他の転動装置(A)の実施例の項で説明したのと同様に行った。すなわち

試験装置：森式スラスト転がり寿命試験機

面圧：4900MPa

回転数：1000rpm

潤滑油：68番タービン油

(水中寿命試験) 先の転がり軸受その他の転動装置

(C) ないし (D) の実施例の項で説明したのと同様に行った。すなわち

試験装置：図15に示す水中スラスト寿命試験機

荷重：150kgf

回転数：1000rpm

上記試験に使用した試験片は、スラスト玉軸受51305で、転動体は窒化ケイ素製（ハイブリッドの場合）又はSUS440C製のもの6個、保持器はフッ素樹脂製である。

【0135】上記寿命試験結果を表8に示した。

【0136】

【表8】

	試験片 No.	記号	クリーン油浴潤滑下寿命 $\times 10^7$ サイクル	水中寿命 $\times 10^6$ サイクル
実施例-1	C-1	W	11.3	17.8
	C-2	X	10.6	18.3
	C-3	Y	10.8	17.4
	C-4	Z	11.9	16.9
実施例-2	C-5	R	11.8	15.4
	C-6	E	10.6	17.1
	C-7	Q	10.7	18.3
	C-8	P	11.4	18.8
比較例	13	H	7.6	3.2
	15	I	1.7	2.8
	19	M	6.3	2.4
	C-9	A'	3.4	1.8
	C-10	C'	2.9	1.6

この実施例-1、実施例-2に記載した試験片C-1～C-8は、その合金組成中の炭素を窒素で置換したものであるため、音響や転動寿命に有害な粗大炭化物もなく、良好な転動疲労寿命が得られた。また、塩水噴霧試験や臭化リチウム溶液浸漬試験においても比較例より優れた耐食性を有していることが確認された。特に、合金成分にNi、Cuを適量添加した本発明のものは一段と優れている。

【0137】さらに、図17、図18で明らかなように、実施例-1（W、X、Y、Z）のものは、特に耐硫酸性、耐塩酸性の点で、実施例-2や比較例と比べて優れている。実施例-2の鋼種（R、E、Q、P）は、Ni、Cuの含有量が0.5重量%を下回っており、そのため腐食環境としては最も厳しい塩酸に対する耐食性が実施例-1のものに比べると劣り、比較例のものに近くなっている。しかし、最低限必要な0.05重量%は含有しているので硫酸に対しては比較例に比べると明らかに耐食性が優れている。

【0138】これに対して、比較例A'は、Niの含有量が本発明の上限である3.5重量%を越えており、耐食性はあるが硬さ不足で転動装置としての寿命が短命になっている。

【0139】また、比較例C'は、個々の成分含有量は

本発明の範囲を満たしているのであるが、Ni、Mn、Cuの総含有量を規制する条件式 $Ni\% + 2.4Mn\% + 0.3Cu\% \leq 5.0$ を満たしていない。そのため、残留オーステナイト量が増加し、転動疲労に耐えるだけの十分な硬さが得られないこととなり、結局硬さ不足で転動装置としての寿命が短命になっている。

【0140】なお、比較例B'については、Cuの含有量が本発明の上限である3.5重量%を越えており、試験片に対して転動装置の製造工程で必要とされる熱間鍛造を行っているうちに試験片の熱間割れが発生してしまい、そのため以後の試験を行うことができなかった。

【0141】以上のように、合金成分にNiやCuを添加した本実施例の転がり軸受その他の転動装置（E）によれば、水中や塩水中、その他酸やハロゲン化物溶液等のような極めて特殊な環境においても、従来のものより耐食性に優れ、炭化物も微細であるため良好な転動疲労寿命が得られる。

【0142】なお、この転動装置（E）は基本的に前記（A）の条件を備えているものであり、かつ例えば窒化ケイ素等のセラミックスも酸を含む雰囲気中でも耐えることから、転動体をこれらセラミックスとしたものとしてもよい。

【0143】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明の転がり軸受は、その構成材料であるステンレス鋼材に関して、耐食性に悪影響を与えると共に含有量が多い場合には粗大共晶炭化物を形成して機能を低下させる成分である炭素を、同程度の固溶強化作用のある窒素で一部置換して炭素濃度を一定の範囲内に規制したことにより、従来のマルテンサイト系ステンレス鋼に比べて著しく耐食性が高く且つ粗大な共晶炭化物の形成を抑制できて、その結果、耐食性、音響特性、転がり疲労寿命、耐磨耗性、高温硬さ等に優れ、なかでも耐食性と疲労寿命が特に良好な転がり軸受を提供できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の転動装置の第1の実施形態である単列深溝玉軸受の部分断面図である。

【図2】本発明の転動装置の第2の実施形態である小型リニアガイドの一部を切り欠いて示す正面図である。

【図3】本発明の転動装置の第3の実施形態であるボールねじの要部の断面図である。

【図4】本発明におけるC量とCr量に関する範囲を規定する説明図である。図4-aが本発明全体、図4-bはより好ましい態様を示す。

【図5】共晶炭化物の大きさと音響特性との関係を示す図である。

【図6】ステンレス鋼のアノード分極曲線測定結果を示す図である。

【図7】2円筒摩耗試験機の概要を示す模式図である。

【図8】転がり軸受の音響特性測定試験の態様を示す断面図である。

【図9】炭素濃度と耐食性との関係を示す図である。

【図10】窒素濃度と耐食性との関係を示す図である。

【図11】転がり軸受の構成材の焼戻し温度と硬さとの関係を示す図である。

【図12】転がり軸受の構成材の高温下での温度と硬さとの関係を示す図である。

【図13】転がり軸受の構成材における炭素と窒素の総量と軸受の寿命との関係を示す図である。

【図14】本発明の他の実施例の、未固溶炭化物の大きさ及び面積率と塩水噴霧試験の評価結果の関係を示した図である。

【図15】水中スラスト寿命試験機を用いた転がり軸受の試験方法を説明する断面図である。

【図16】本発明の実施例と比較例との摩耗速度と寿命との関係を示した図である。

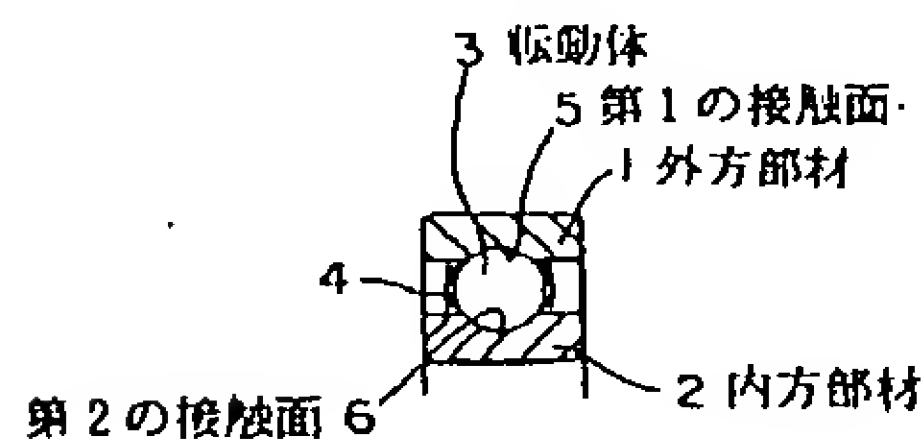
【図17】各試験片の硫酸に対する腐食減量を表す図である。

【図18】各試験片の塩酸に対する腐食減量を表す図である。

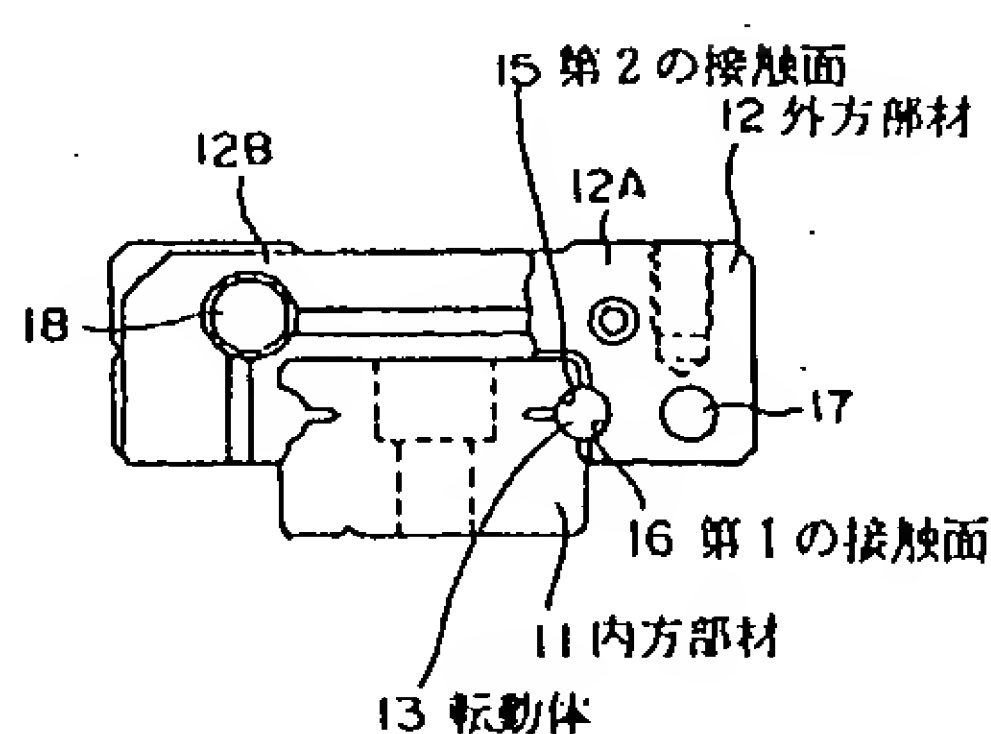
【符号の説明】

- W 転がり軸受
- Ws 転がり軸受
- 1 外輪
- 1s 外輪
- 2 内輪
- 2s 内輪
- 3 転動体
- 3s 転動体
- 4s 保持器

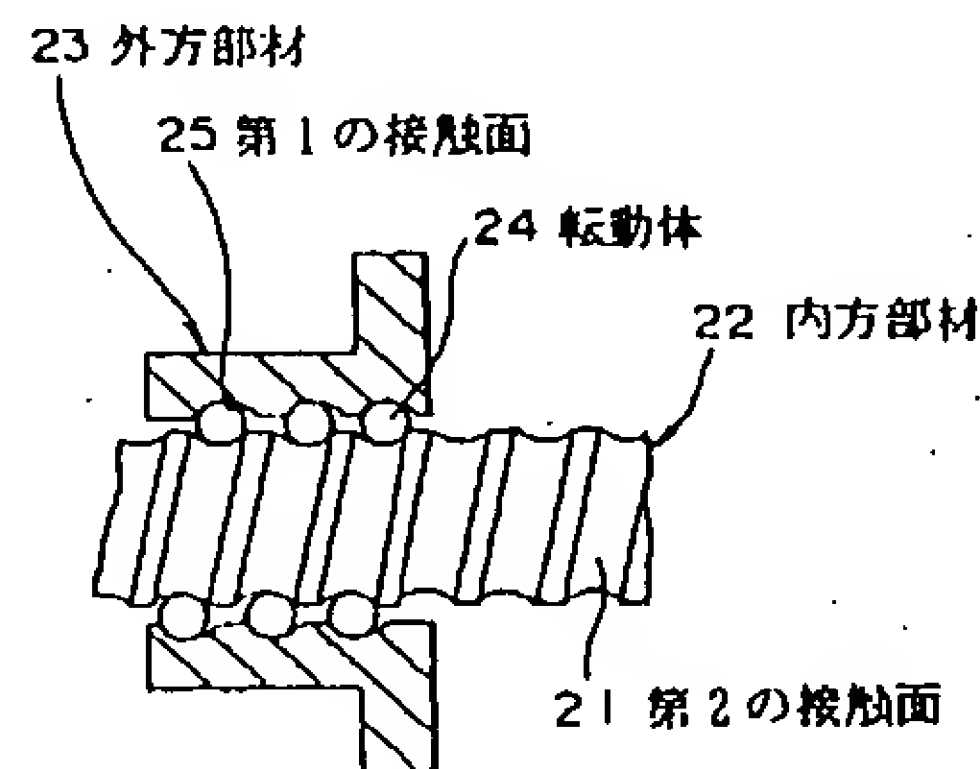
【図1】



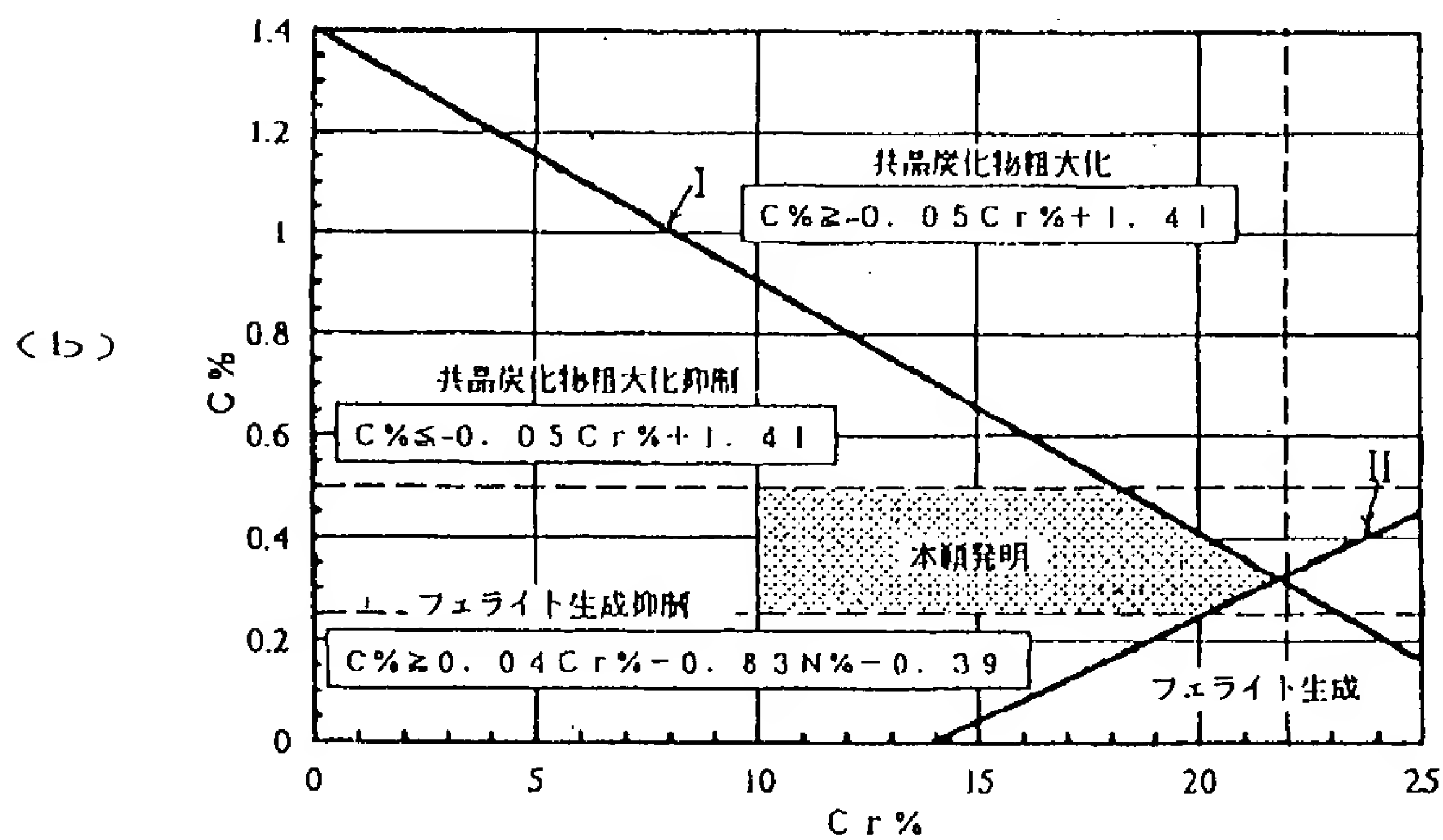
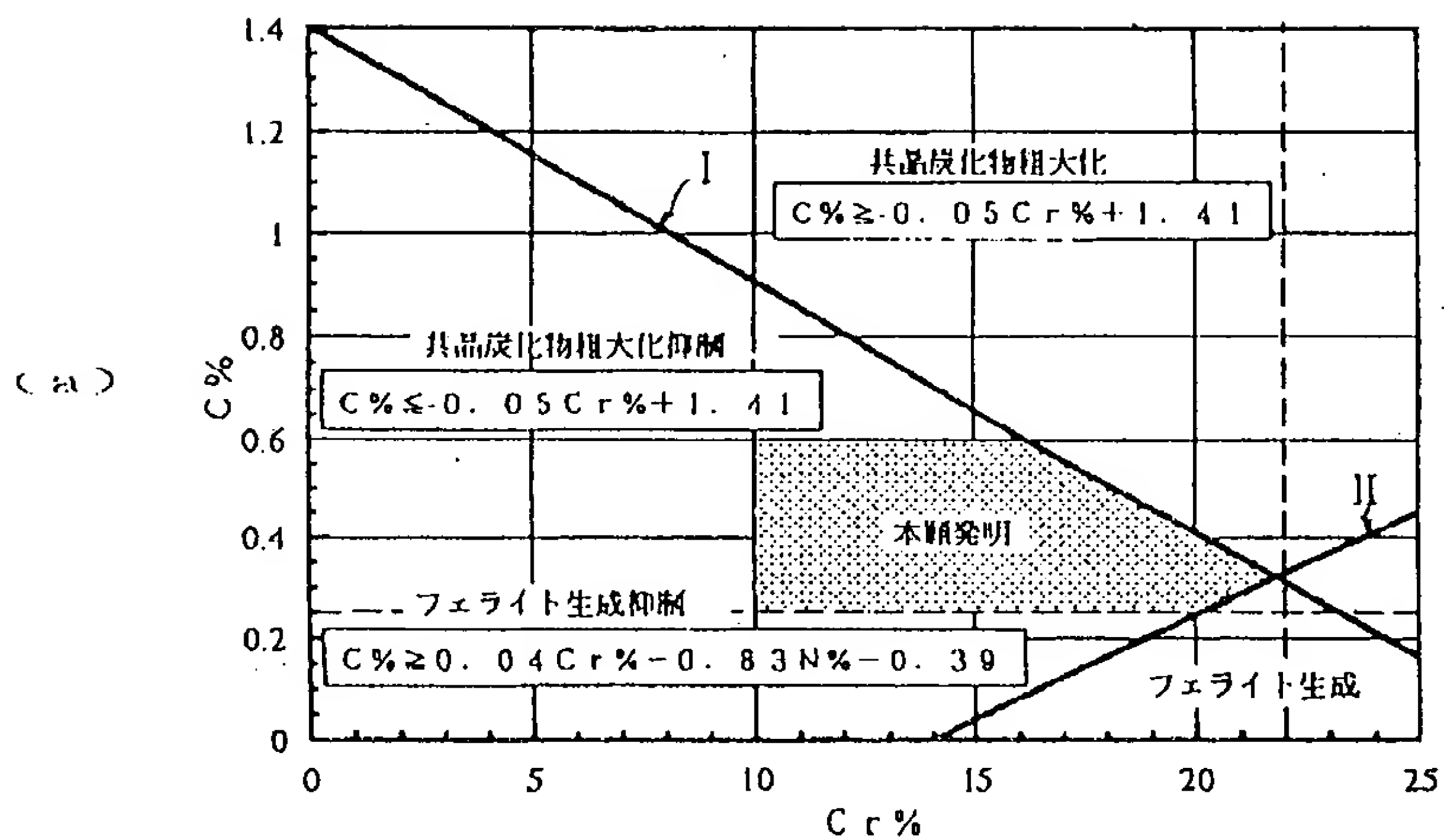
【図2】



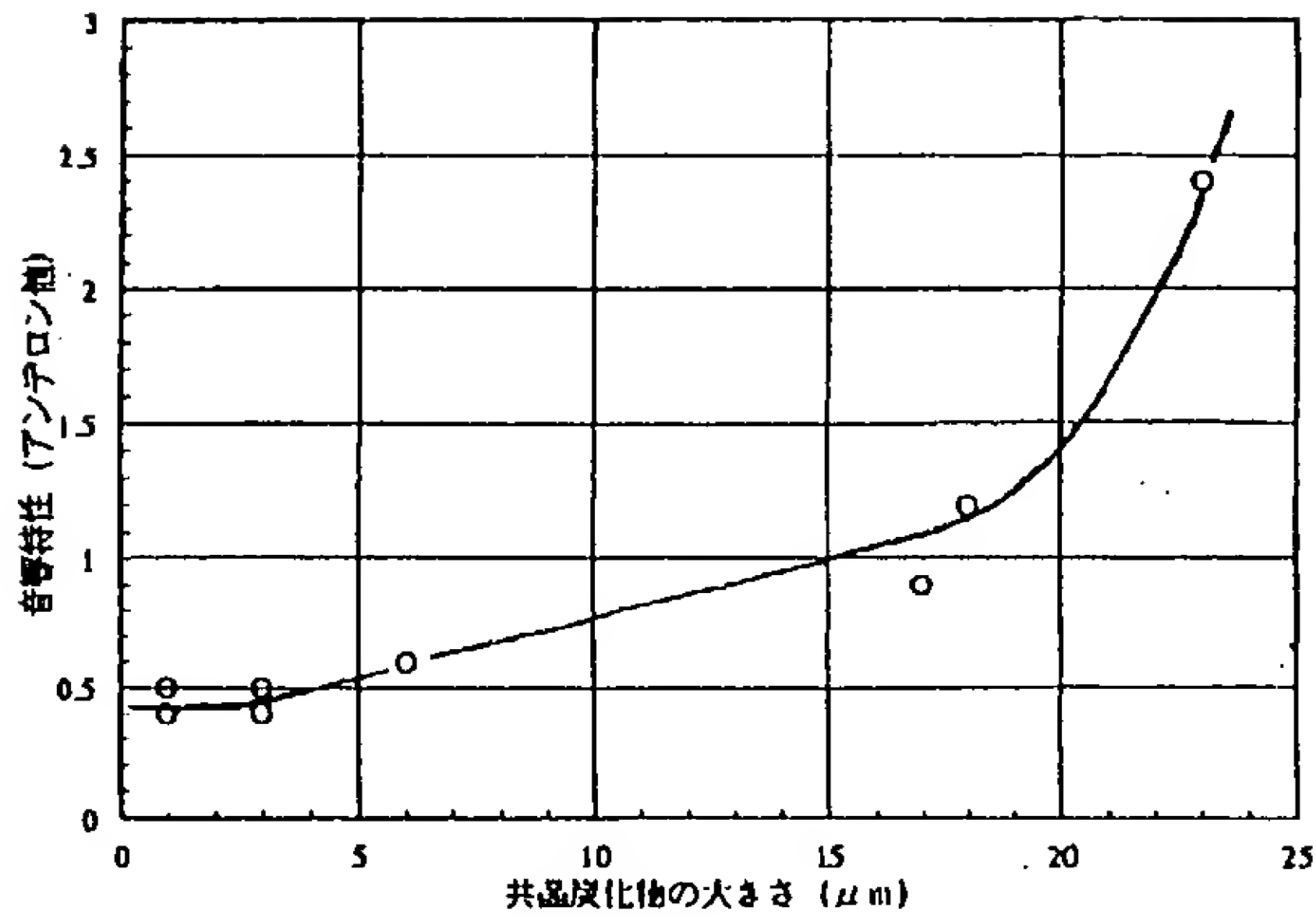
【図3】



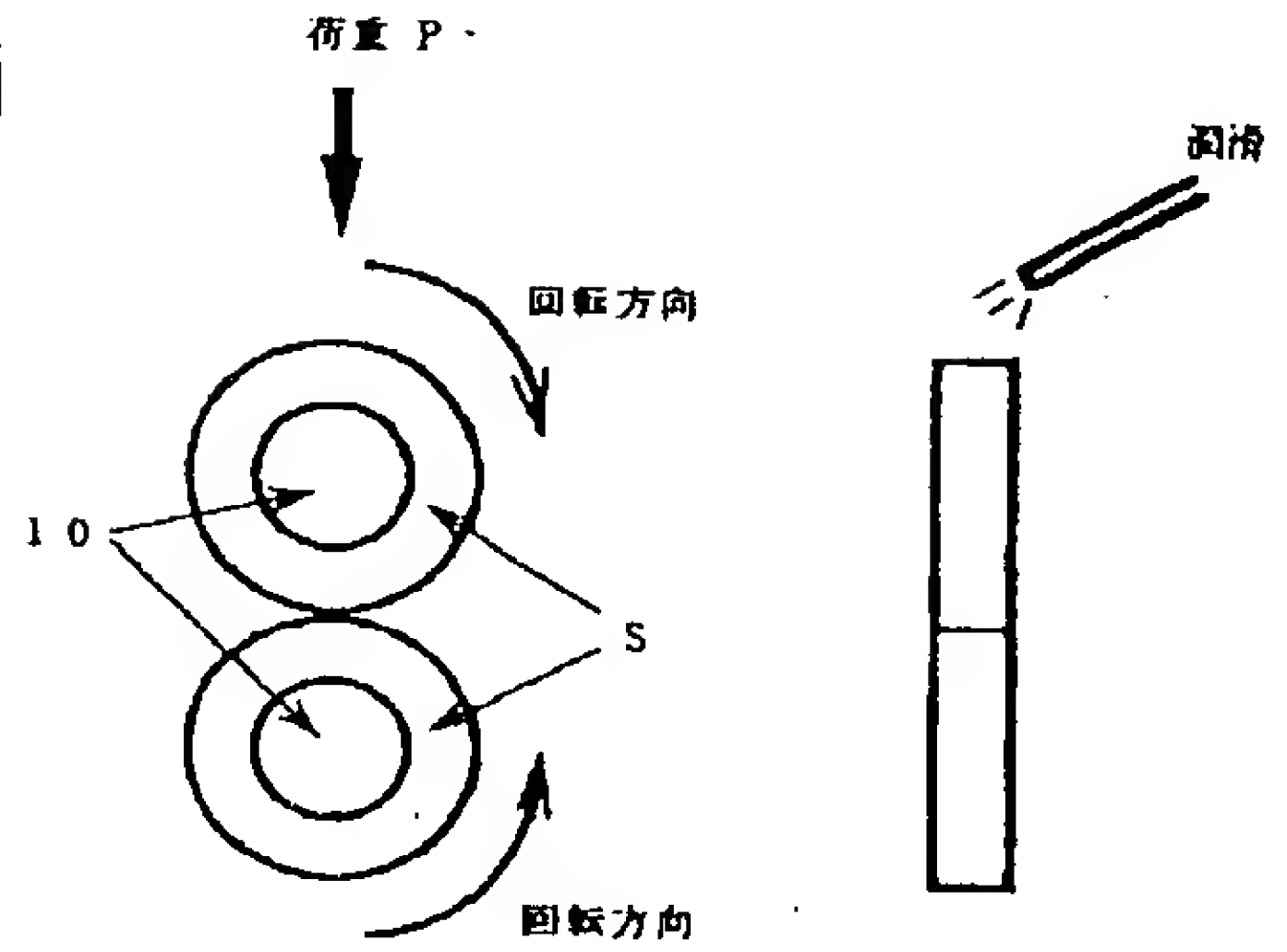
【図4】



【図5】

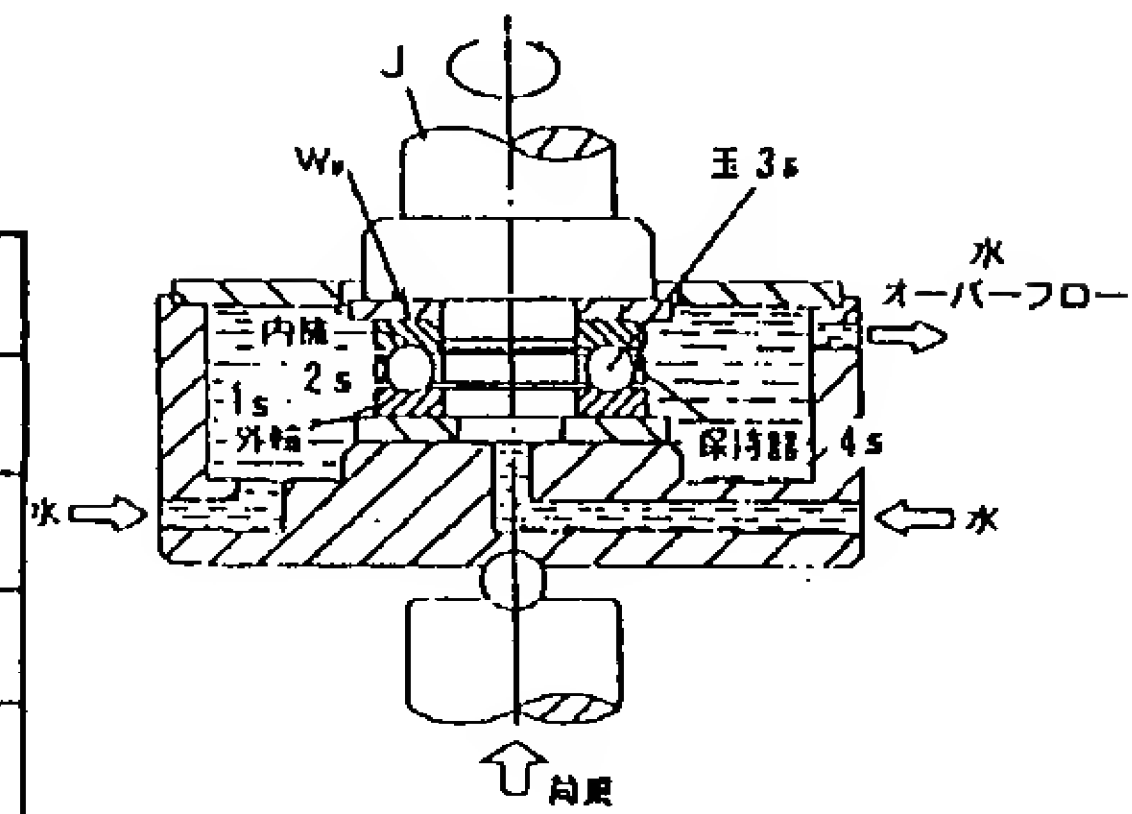
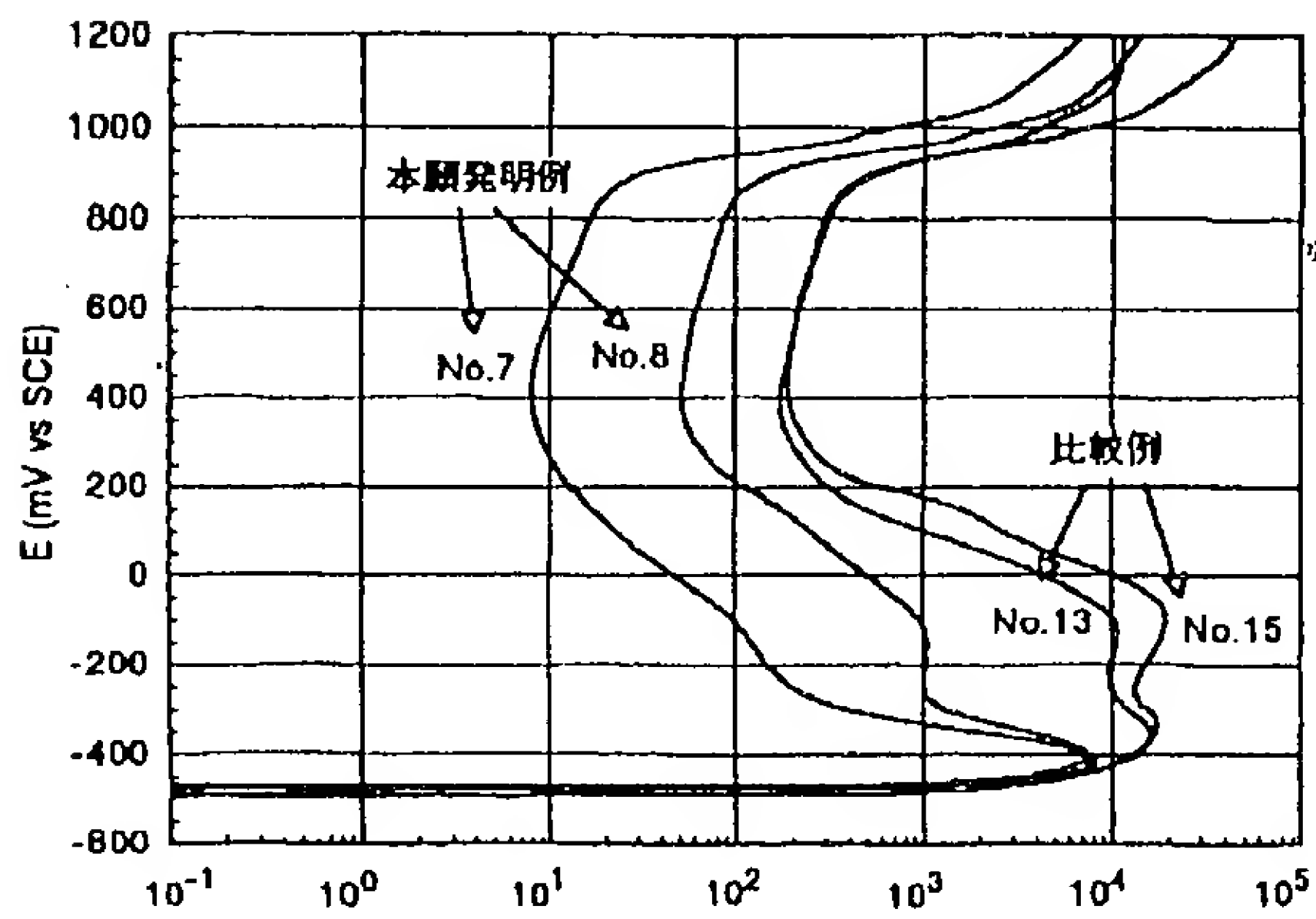


【図7】

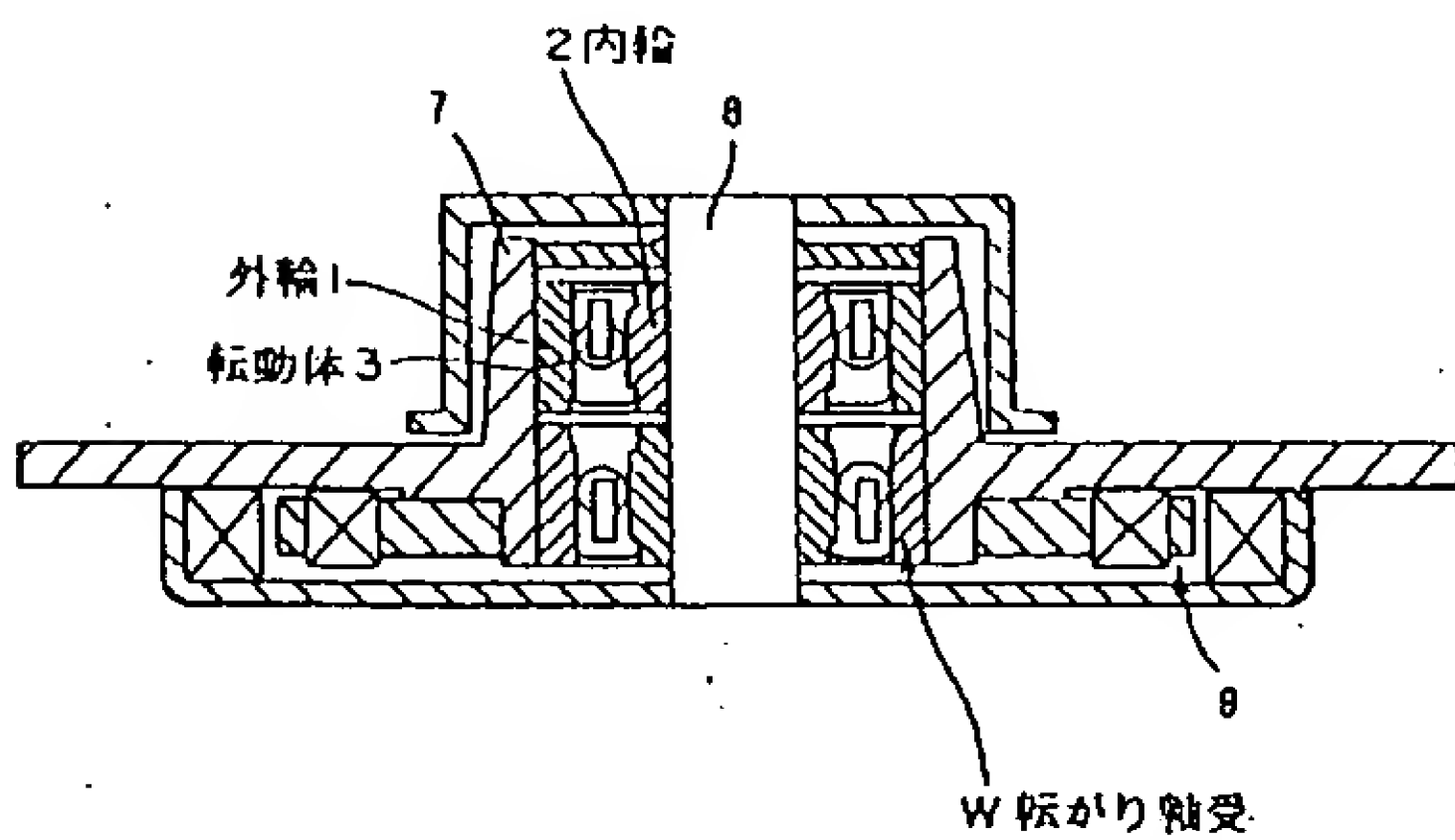


【図15】

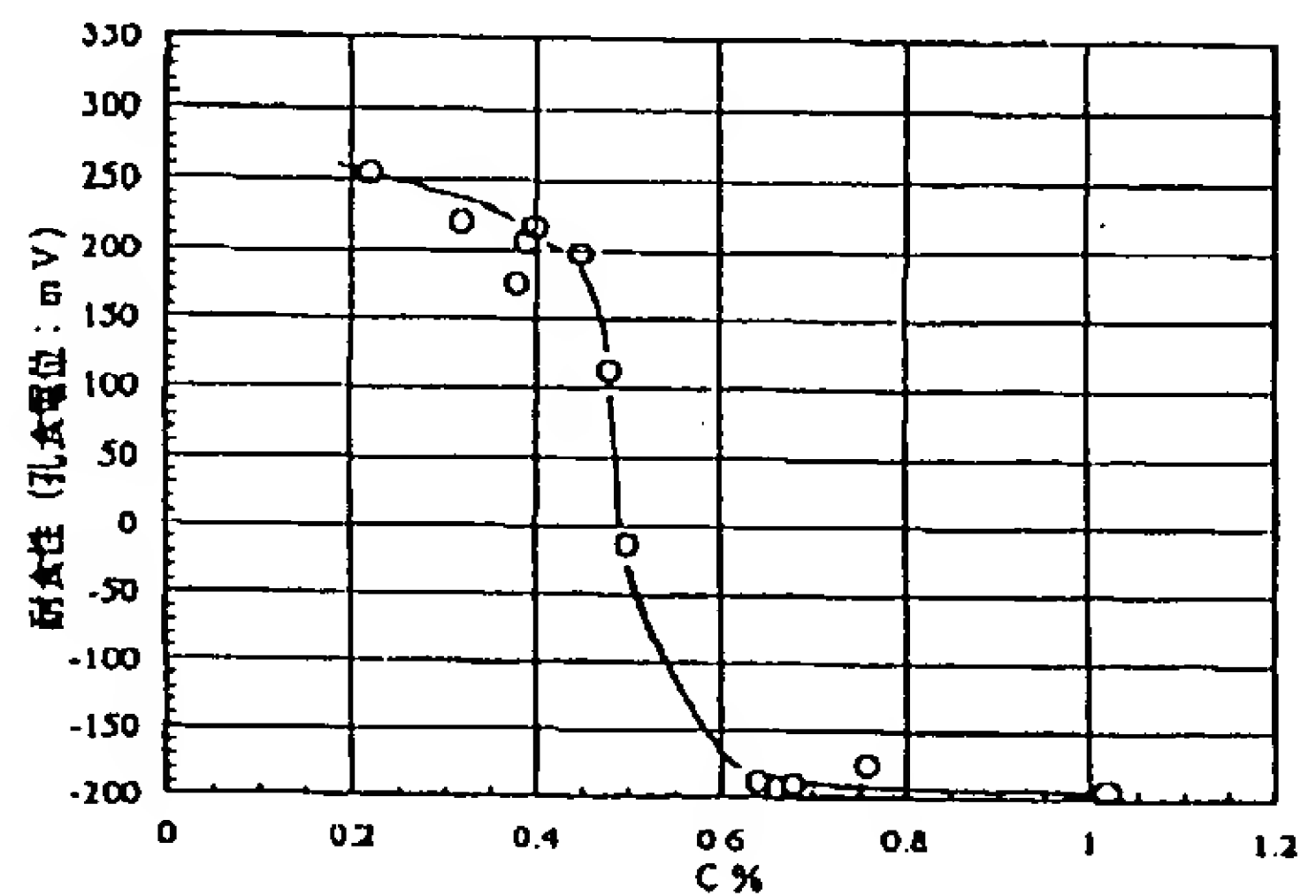
【図6】



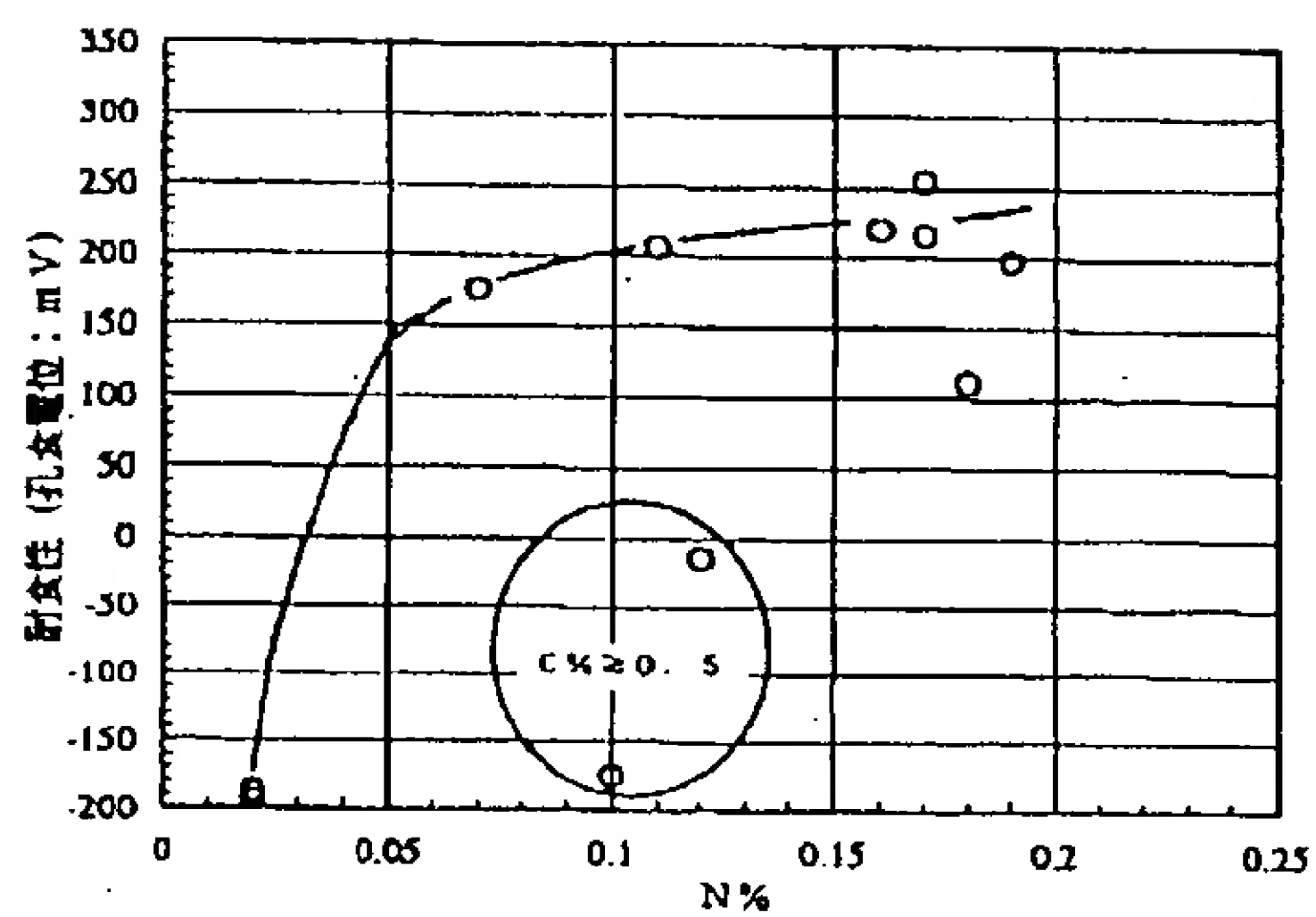
【図8】



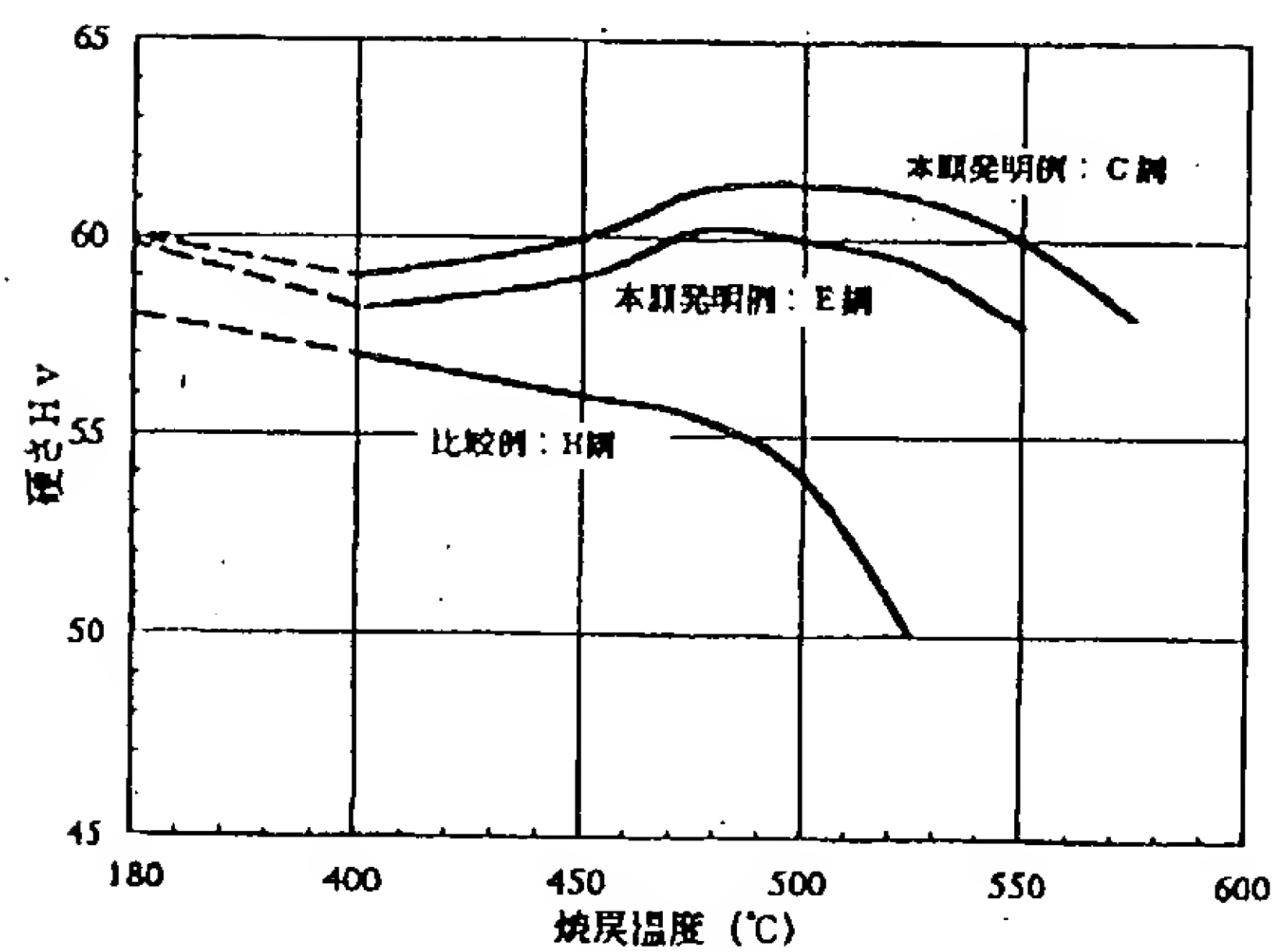
【図9】



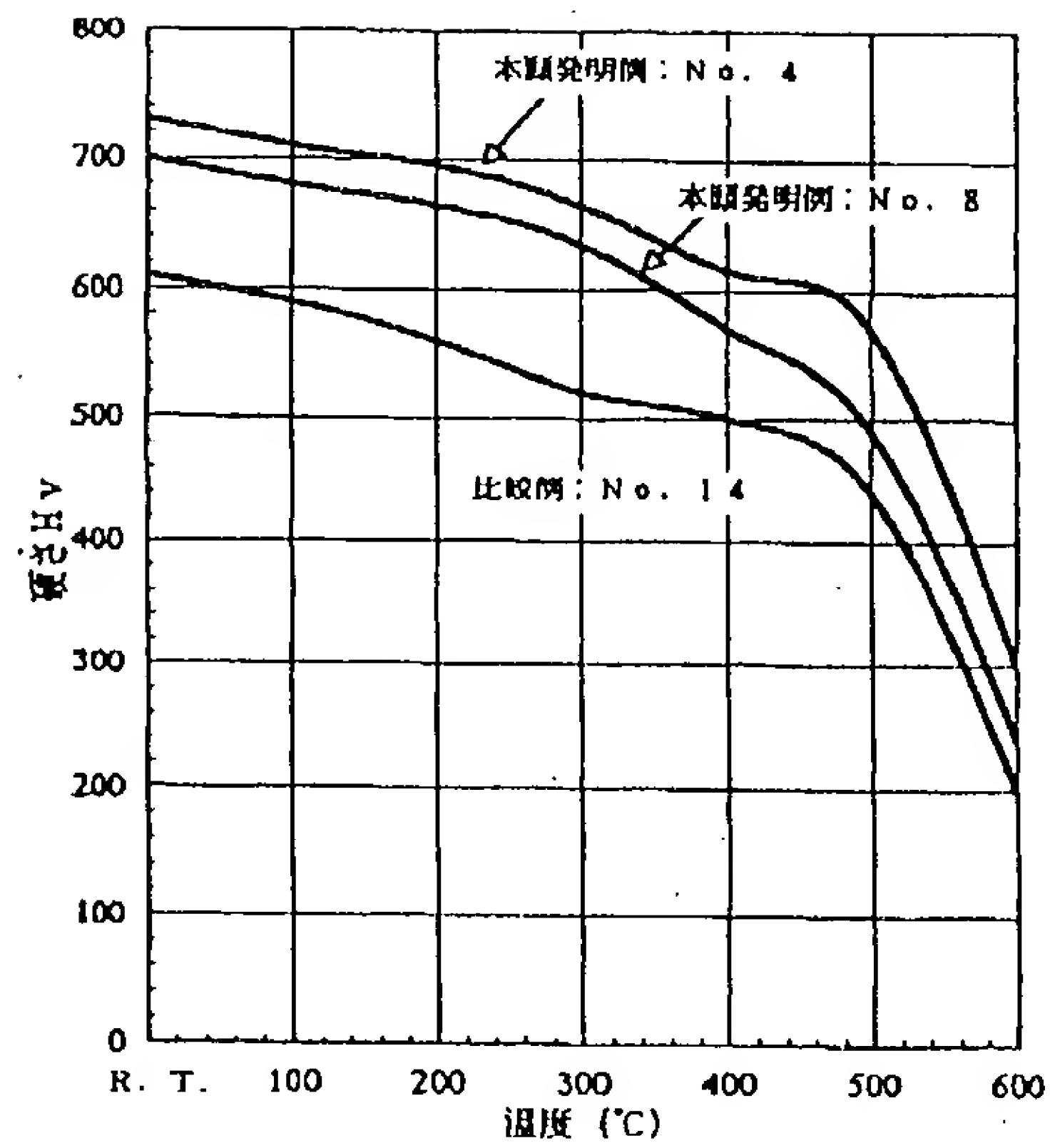
【図10】



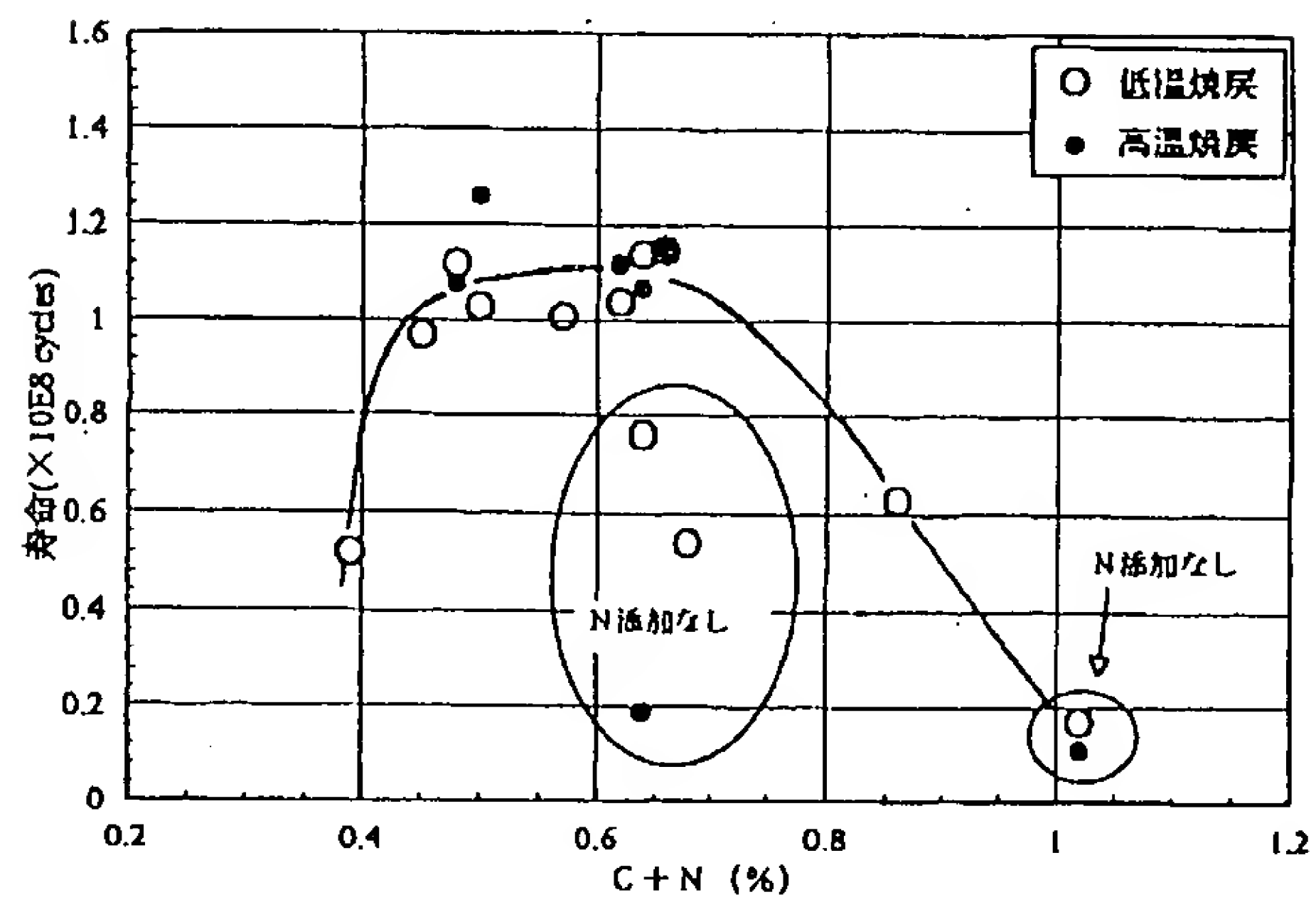
【図11】



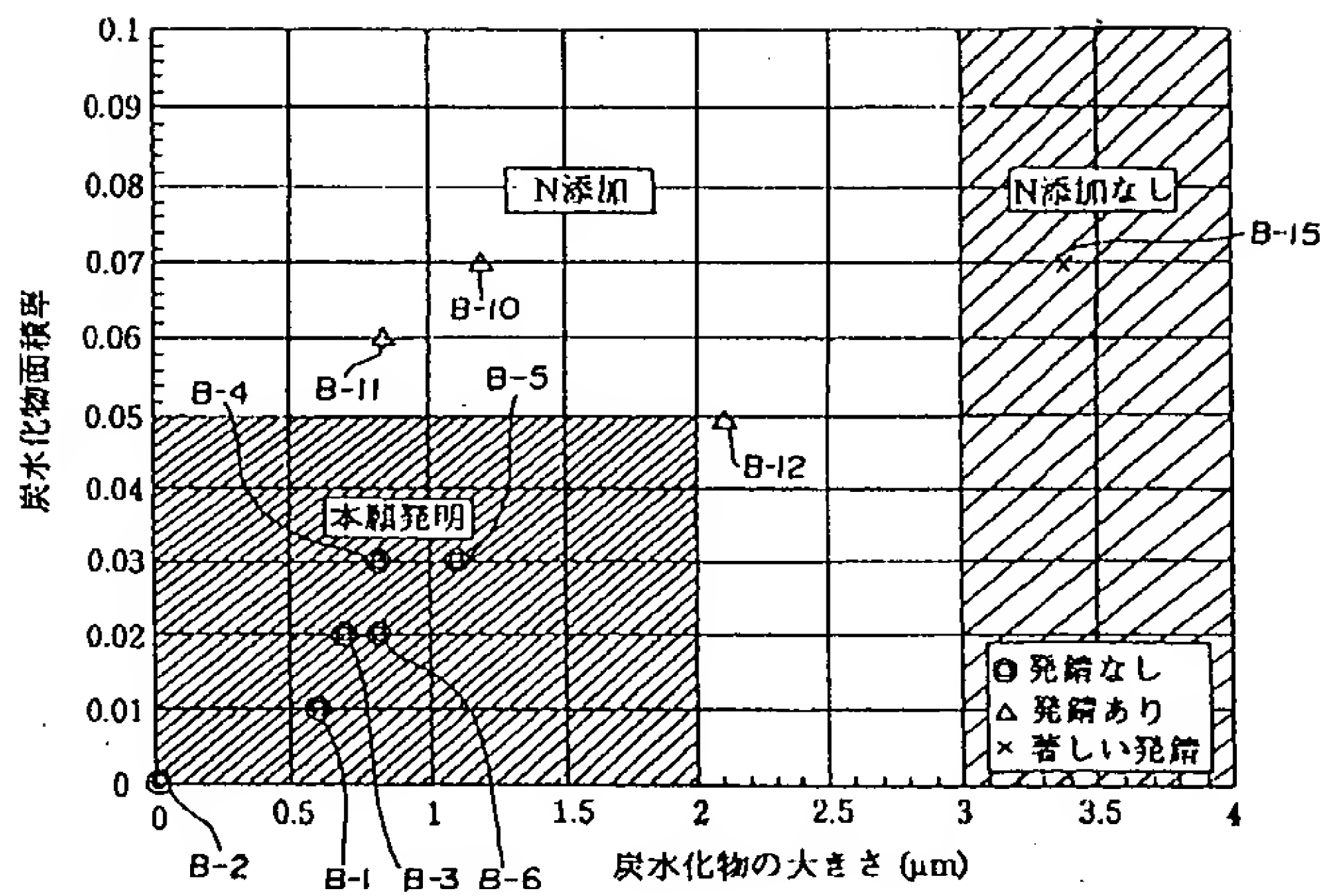
【図12】



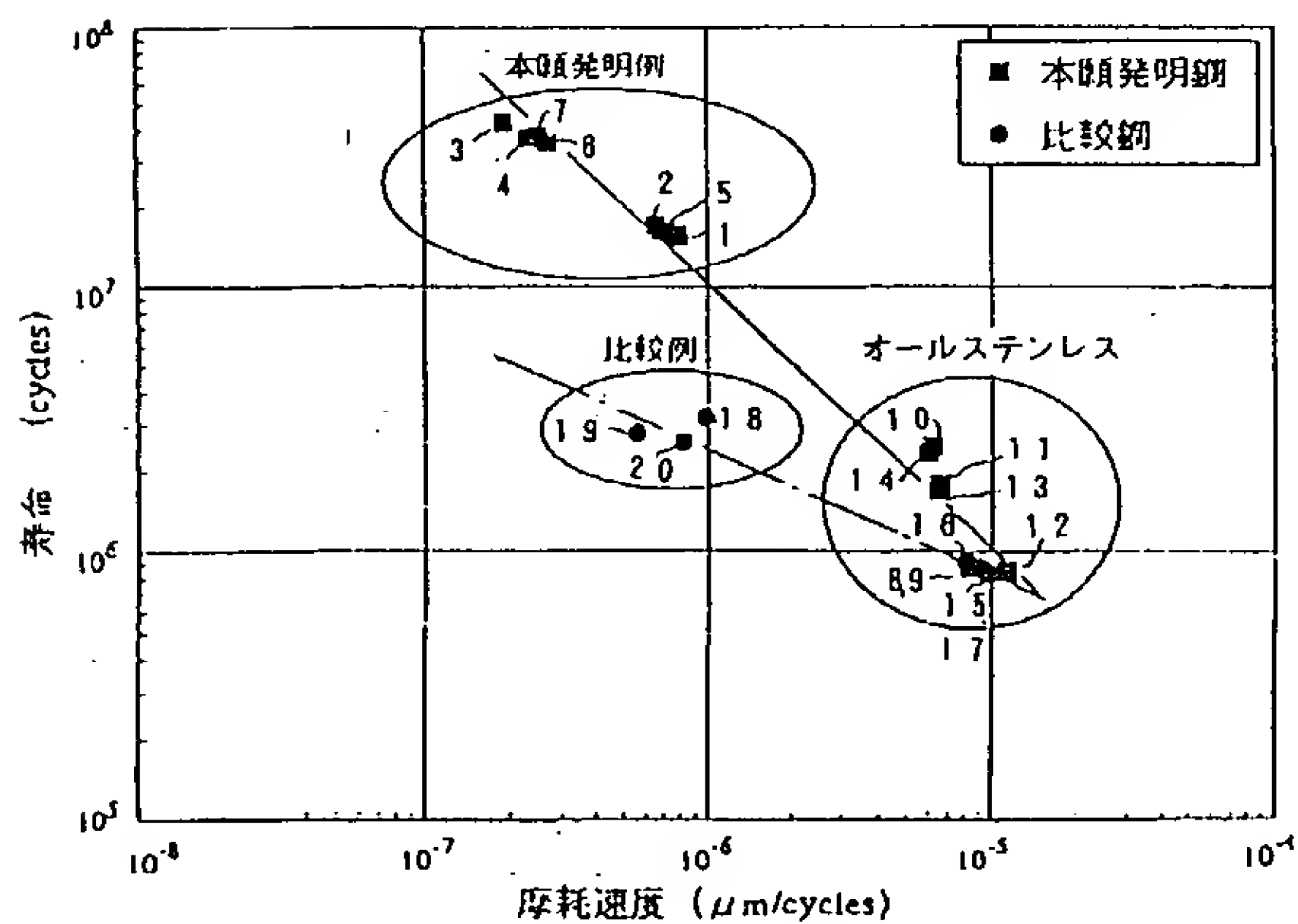
【図13】



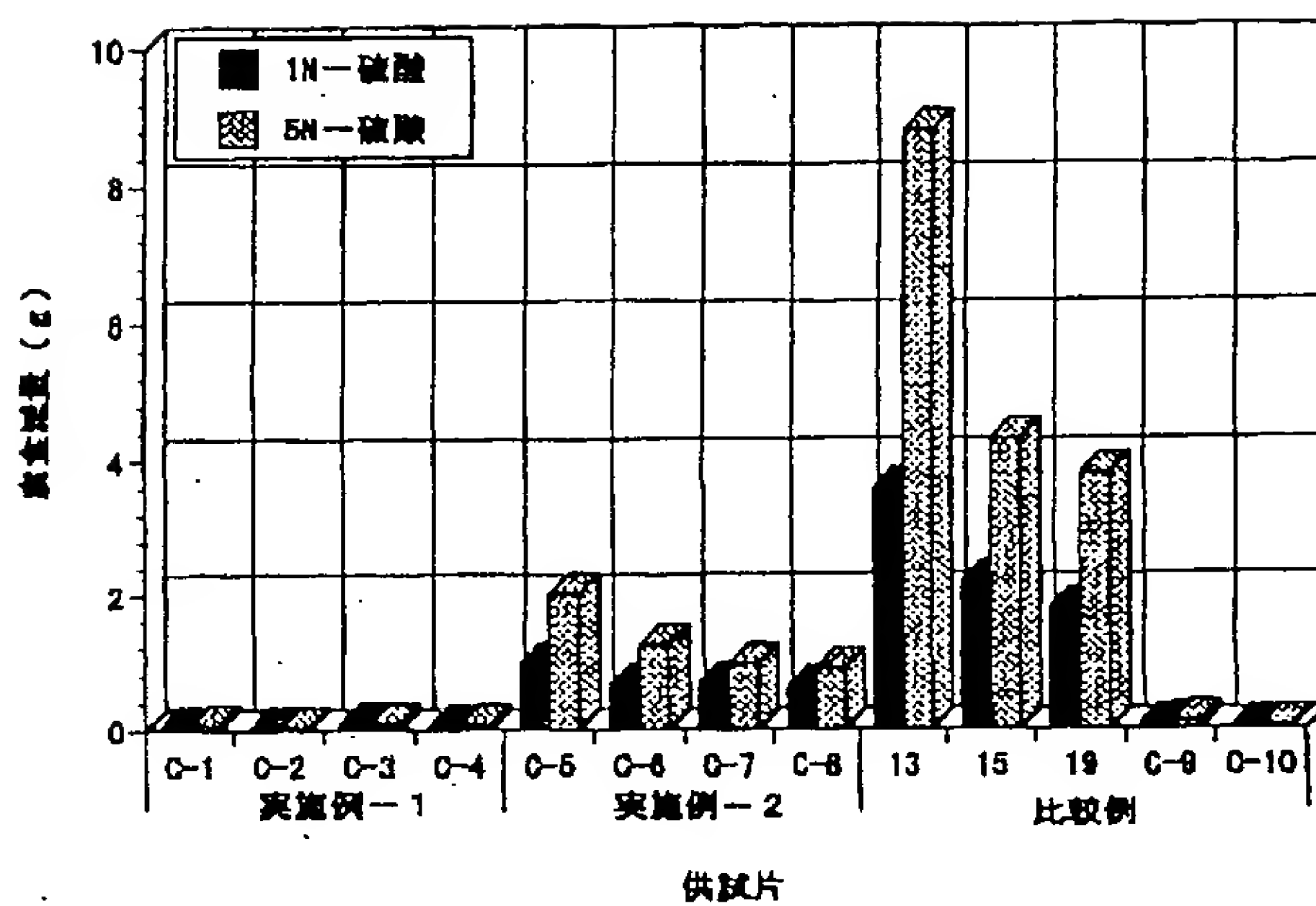
【図14】



【図16】



【図17】



【図18】

